

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О.Ф. Луговський
(ініціали, прізвище)
“ ____ ” _____ 2020 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра**

З спеціальності **131 Прикладна механіка**

(код і назва)

на тему: Модернізація експериментального лабораторного стенду для дослідження героторних насосів.

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи МА-61-1
(шифр групи)

Суденко Олександр Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник _____
Галецький Олександр Сергійович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці ст.викладач Ковтун А.І. _____
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з технології машинобудування к.т.н., доц. Кореньков В.М. _____
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к.т.н., доц. Борис Руслан Степанович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 рік

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут Механіко-машинобудівний
(повна назва)

Кафедра Прикладної Гідроаеромеханіки і Механотроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)

Спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) О.Ф.Луговський
(прізвище ініціали)

“ _____ ” _____ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту**

Суденко Олександр Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Модернізація багатопозиційного пневмогідравлічного приводу з дозуючим пристроями

Керівник проекту Галецький О.С., доц., к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по університету від “ 20 ” травня 2020 року № 1120-с

2. Термін подання студентом проекту 09.06.2020

3. Вихідні дані до проекту Циліндр: $D=70$ мм, $d=40$ мм, $S=450$ мм, $S=0,006$ м, $T=294,15$ °К.

4. Зміст пояснювальної записки Вступ, РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИВОДІВ, 1.1 Різновид позиційних приводів, 1.2 Позиційні приводу з електрорушієм, 1.3 Позиційні приводи з пневматичним рушієм, 1.4 Гідравлічні позиційні приводи, 1.5 Види керування позиційними приводами, РОЗДІЛ 2 Розробка пневмогідравлічного крокового приводу, 2.1 Вимоги до гідравлічного приводу, 2.2 Принцип керування, 2.3 Принцип роботи, 2.4 Розрахунок пневмогідравлічного приводу, 2.5 Вибір робочої рідини, 2.6 Вибір апаратури для керування приводом, Висновок.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо)

Пояснювальна записка, Схеми – 2, Креслення – 2, Складальне креслення – 1, Специфікація – 1.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Охорона праці	ст.викл. Ковтун А.І.		
2. Технологія машинобудування	доц. Кореньков В.М.		

7. Дата видачі завдання 03.02.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Отримання завдання до дипломного проектування	03.02.2020- 06.02.2020	
2	Аналіз експериментальних лабораторних стендів для дослідження насосів	07.02.2020- 15.04.2020	
3	Модернізація експериментального лабораторного стенду для дослідження героторних насосів	15.04.2020- 01.05.2020	
4	Проведення розрахунків для модернізованої частини експериментального лабораторного стенду	01.05.2020- 10.05.2020	
5	Підготовлення технічної документації та креслень проекту	10.05.2020- 01.06.2020	
6	Виконання розділів «Охорона праці» та «Технологія машинобудування»	01.05.2020- 08.06.2020	

Студент

(підпис)

Суденко О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Галецький О.С.

(прізвище та ініціали)

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: Модернізація експериментального лабораторного стенду для
дослідження героторних насосів

Київ – 2020 рік

Анотація

Як показує педагогічна практика, неможливо домогтися якісної освіти без використання навчального обладнання. Не останню роль в цьому процесі відіграє використання якісного лабораторного обладнання, в тому числі лабораторних стендів. Ці стенди покликані показати, пояснити і навчити логічному розумінню принципів взаємодії компонентів єдиного цілого.

В свою чергу при проектуванні нового обладнання також є необхідним проведення натурних досліджень роботи компонентів систем, наразі гідравлічних насосів. Лабораторний стенд забезпечує можливість побачити як працюватиме насос у різних умовах, за різних навантажень та іншому.

В роботі запропонована модернізація стенду, проведені розрахунки що обумовлені розробленим модулем та виготовлена необхідна технічна документація.

Annotation

As pedagogical practice shows, it is impossible to achieve quality education without the use of educational equipment. Not the last role in this process is played by use of the qualitative laboratory equipment, including laboratory stands. These stands are designed to show, explain and teach a logical understanding of the principles of interaction of the components of a single whole.

In turn, when designing new equipment, it is also necessary to conduct field studies of the components of systems, now hydraulic pumps. The laboratory stand provides an opportunity to see how the pump will work in different conditions, at different loads and more.

The modernization of the stand is offered in the work, the calculations caused by the developed module are carried out and the necessary technical documentation is made.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСІВ.....	13
1.1 Лабораторний стенд для дослідження гідравлічних характеристик насосного обладнання з МПСо НТЦ-11.60	13
1.2 Лабораторний стенд "Гідравліка М1" НТЦ-11.17	15
1.3 Компанія «Festo» навчальний стенд по гідроприводу "Festodidactic"	18
1.4 Виробничі стенди. Приклади таких стендів представлені.....	19
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕНДУ. ГІДРАВЛІЧНА СХЕМА І ОПИС ОБЛАДНАННЯ	21
2.1 Принципова пневматична схема приводу.....	29
2.2 Статичний розрахунок основного приводу	32
2.3 Вибір трубопроводів і пневмоапаратури	34
2.4 Знаходження пропускної здатності пневмоліній.....	39
2.5 Знаходження пропускної здатності пневмолінії вихлопу	45
2.6 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку напірної пневмолінії	47
2.7 Визначення втрат тиску на гідравлічне тертя	62
2.8 Розрахунок втрат на тертя	64
2.9 Визначення втрат у місцевих опорах	65
2.10 Визначення втрат у гідроапаратах.....	66
2.11 Тепловий розрахунок	69
2.12 Розрахунок гідроциліндра на міцність	73
2.13 Розрахунок товщини стінки.....	73

					МА61-1.001.000.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Модернізація експериментального лабораторного стенду для дослідження героторних насосів Пояснювальна записка					Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Суденко											
Перевірів	Галецький											
Н. Контр.												
Затвердив					КПІ ім. Ігоря							

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	74
3.1 Характеристики приміщення, де проходить керування позиційним приводом	74
3.2 Аналіз мікрокліматичних умов	75
3.3 Освітлення навчальної аудиторії	76
3.4 Пожежна безпека	78
3.5 Електробезпека	79
Висновки по розділу	80
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	81
4.1 Опис деталі	81
4.2 Вибір виготовлення заготовки та розроблення її креслення.....	81
4.2.1 Вибір заготовки	81
4.2.2 Характеристики хімічних та фізико-механічних властивостей матеріалу деталі.....	81
4.2.3 Визначення серійності виробництва та групи складності...	82
4.3. Розробка технологічного процесу	83
4.3.1 Проектування технологічних послідовностей оброблення поверхонь деталі	83
4.3.2 Рівень технологічності конструкції по точності обробки ..	84
4.3.3 Рівень технологічності конструкції по коефіцієнту шорсткості	86
4.3.4 Коефіцієнт використання матеріалу.....	87
4.3.5 Проектування змісту технологічних операцій.....	87
4.3.6. Проектування маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі "Поршень"	88

4.4.1 Розрахунок режиму різання при точінні.....	91
4.4.2. Розрахунок режимів різання при фрезеруванні.....	98
4.4.3. Розрахунок режимів різання при свердленні	104
4.5 Висновки.....	108
Загальні висновки	108
Список використаної літератури.....	109
Специфікації.....	111

ВСТУП

Ефективність підготовки майбутніх фахівців залежить від якості освіти, саме:

- лекційні заняття;
- демонстраційні експерименти;
- лабораторні практикуми з застосуванням навчально-лабораторного обладнання;
- мультимедійні засоби навчання.

Як показує педагогічна практика, неможливо домогтися якісної освіти без використання навчального обладнання і навчального обладнання. Не останню роль в цьому процесі відіграє використання якісного лабораторного обладнання, в тому числі лабораторних стендів. Ці стенди покликані показати, пояснити і навчити логічному розумінню принципів взаємодії компонентів єдиного цілого. Вважається, що ці стенди одні з найкращих способи навчання. Використовуйте їх для проведення практичних та лабораторних занять. Це стає набагато цікавіше і краще. Сучасні лабораторні підставки для вищих навчальні заклади виробляють з використанням найновішого обладнання та програмне забезпечення, яке дозволяє організувати повноцінне та якісне навчання студентів. Це обладнання дозволяє студентам отримати не тільки теоретичні, але й практичні робочі навички. Тільки за допомогою лабораторії стенди можна безпечно, але максимально реалістично працювати з віртуальними і реальні об'єкти. Крім того, за допомогою стендів стають не тільки учні легше сприймати навчальний матеріал, але це стає зручніше для самих викладачів. Пояснить та подайте матеріал. Дуже зручно проводити таке обладнання найбільше експериментів та експериментів, не побоюючись за своє здоров'я, тому що вони відповідають прийнятим стандартам безпеки. Іншими словами, лабораторія стенд дозволяє імітувати реальну ситуацію, але без шкоди здоров'я.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна характеристика стендів для навчальних лабораторій включає: простоту використання, продуману функціональність, простоту та безпеку використання, можливість дистанційного керування, тривалий термін експлуатації, чудову ергономіку, багате обладнання, сучасний рівень комп'ютеризації та автоматизації, оптимальне співвідношення ціни та якості. Цей тип стендів є частиною великих лабораторій, де можна проводити різні випробування. Це обладнання є відмінним помічником у поясненні та засвоєнні матеріалу. Вони незамінні і приносять користь і студентам, і викладачам.

Метою даної бакалавратської роботи: є вирішення проблеми оновлення обладнання для підвищення кваліфікації випускників університету. Для досягнення цієї мети було сформульовано такі завдання:

- Провести аналіз існуючих стендів та запропонувати альтернативне рішення проблеми.
- Проектування схеми.
- Підбір обладнання.
- Створення нового лабораторного стенду.
- Описати пусконаладжувальні роботи.
- Написати методiku проведення лабораторних робіт.
- Провести експериментальні дослідження.
- Написати методичні вказівки та створити протоколи.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		12

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСІВ СТЕНДІВ

1.1. Лабораторний стенд для дослідження гідравлічних характеристик насосного обладнання з МПСо НТЦ-11.60

Лабораторний навч. стенд призначений для проведення лабораторних робіт з дисциплін: «Гідравліка, гідромашини і гідроприводи», «Гідравлічні системи», «Механіка рідини і газу» та ін. В середніх спеціальних і вищих навчальних закладах. [1]

На рамній несучій конструкції встановлені дві підсистеми: гідравлічна і електрична (рис. 1.1). Гідравлічна підсистема виконана з розімкненим циркуляцією робочої рідини, в якості якої використовується вода. При монтажі стенду не потрібне підключення його до систем водопостачання і каналізації. [1]



Рис. 1.1. Лабораторний стенд для дослідження гідравлічних характеристик насосного обладнання з МПСо НТЦ-11.60 [1]

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

На стенді встановлені:

- дві насосні установки, кожна з яких містить відцентровий насос консольного типу і трифазний асинхронний електродвигун;
- один гидробак;
- трубопроводи з запірною-регулюючої апаратурою;
- система електроживлення;
- інформаційно-вимірювальна система.

Інформаційно-вимірювальна система дозволяє вимірювати тиск (на входах і виходах насосів), миттєву витрату, рідини, потужності на входах електродвигунів. Результати вимірювань відображаються в цифровому вигляді на електронному табло. [1]

Для забезпечення високої якості функціонування мікропроцесорних датчиків і досягнення необхідної точності вимірювань стенд містить спеціально розроблену систему захисту від перешкод.

До лабораторного стенду додається програмне та методичне забезпечення: комплект методичної та технічної документації, призначений для викладацького складу. [1]

Стенд дозволяє проводити наступні лабораторні роботи:

- Визначення робітників і кавітаційних характеристик відцентрового насоса;
- Дослідження характеристик насосної установки при послідовному включенні насосів;
- Дослідження характеристик насосної установки при паралельному включенні насосів;
- Узгодження характеристик насоса і мережі. Визначення оптимального режиму роботи.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики стенда [1]

Таблиця 1.1

Живлення	3 ~ 380/220 В, 50Гц
Споживана потужність, кВт не більше	3,1
Напруга живлення датчиків тиску, В	+24
Робоча рідина	Вода
Діапазон вимірюваних в системі тисків, МПа	-0,1 до +0,4
Обсяг води, необхідний для заправки гідросистеми стенду, дм ³	220

Габаритні розміри стенду [1]

Таблиця 1.2

Ширина, мм	2000
Висота, мм	1700
Глибина, мм	900
Вага обладнання, кг., Не більше	300

1.2. Лабораторний стенд "Гідравліка М1" НТЦ-11.17.1

Лабораторний навчальний стенд (рис. 1.2) призначений для проведення лабораторних робіт по курсу "Гідравліка" в середніх спеціальних і вищих навчальних закладах. Стенд є доповненою версією навчального лабораторного стенду НТЦ-11.17. [1]

Рамну конструкції стенду, виконано у вигляді одностороннього базису зі столом, розташовані дві гідропанелі і панель електровимірювань і управління. На панелі електровимірювань і управління розташована принципова гідравлічна схема. Стенд має жорстку конфігурацію, яка потребує перед проведенням заняття будь-яких складальних робіт. До складу стенду входить гідростанція. [1]

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		15

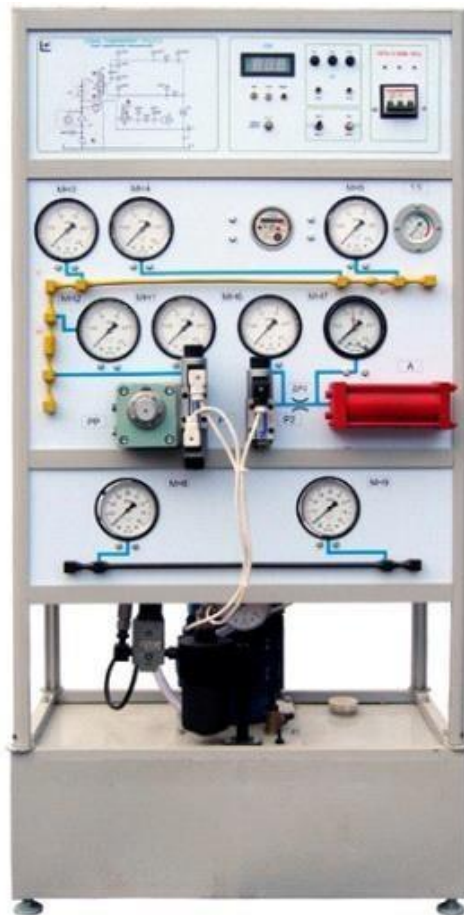


Рис.1.2. Лабораторний стенд "Гідравліка М1" НТЦ-11.17.1 [1]

На стенді встановлені:

- трифазний електродвигун;
- шестерінчастий насос;
- напірний гідроклапан;
- фільтр;
- два розподільника з електромагнітним керуванням;
- дволінійних регулятор витрати;
- гідроаккумулятор;
- монтажні плити;
- для приєднання трубопроводів арматура і трубопроводи.

Забезпечення при випробуваннях досить високих тисків і швидкостей течії рідини робить досліджувані процеси наочними, що сприяє засвоєнню

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		16

учнями матеріалу. На стенді передбачена можливість зміни в широких межах витрати рідини. [1]

Інформаційно-вимірювальна система стенду дозволяє визначати:

- тиск;
- витрата;
- температуру робочої рідини;
- час.

На стенді також встановлено:

- 8 манометрів (один з ніхелелектроконтактний);
- швидкісний витратомір інтегруючого типу;
- електронний секундомір;
- термометр з біметалічним чутливим елементом.

У ряді робіт отримані експериментальні характеристики зіставляються з результатами розрахунків, що дозволяє оцінювати похибки, що допускаються при розрахунках. [1]

До лабораторного стенду додається програмне та методичне забезпечення: комплект методичної та технічної документації, призначений для викладацького складу. [1]

Стенд дозволяє проводити наступні лабораторні роботи:

- Вимірювання тиску та витрати, визначення режиму течії рідини;
- Побудова напірної і пьезометрической ліній трубопроводу. Вивчення рівняння Бернуллі;
- Визначення коефіцієнтів місцевих гідравлічних опорів;
- Визначення коефіцієнта гідравлічного тертя (коефіцієнта Дарсі);
- Дослідження нестационарного (несталого) витікання рідини через гідродросьель (малий отвір у тонкій стінці).
- Визначення залежності коефіцієнта витрати гідродросьеля від температури робочої рідини.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		17

Технічні характеристики стенда [1]

Таблиця 1.3

Живлення	3 ~ 380/220 В, 50Гц
Споживана потужність, кВт не більше	2
Напруга живлення датчиків тиску, В	+24
Робоча рідина	Мінеральне масло
Номінальний тиск в гідросистемі, МПа	1,6

Габаритні розміри стенду [1]

Таблиця 1.4

Ширина, мм	810
Висота, мм	1620
Глибина, мм	580
Вага обладнання, кг., Не більше	170

1.3. Компанія «Festo» навчальний стенд по гідроприводу "Festodidactic"

Функції даного стенду: [3,4]

- Вивчення і практичний тренінг по монтажу гідроапаратів відповідно до розробленої або заданої гідравлічною схемою;
- керування роботою гідроапаратів (ручне або електричне) в реальному часі;
- -візуалізація та реєстрація технологічних параметрів: тиск і витрата робочої рідини, швидкість переміщення штока гідроциліндра.

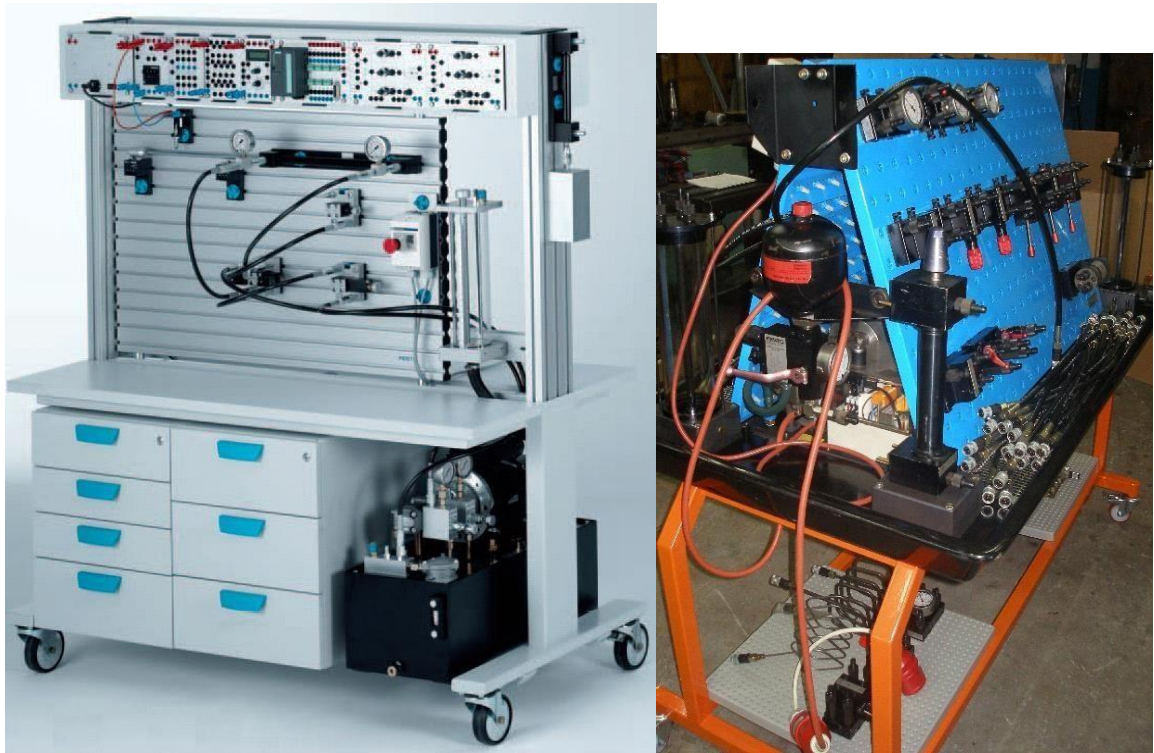


Рис. 1.3. Компанія «Festo» навчальний стенд по гідроприводу "Festodidactic"[3, 4]

1.4 Виробничі стенди. Приклади таких стендів представлені. [2, 5]



Рис. 1.4. Стенд для відпрацювання і проведення випробувань виробів спецтехніки з використанням гідравлічних приладів (рульових машин) систем управління підвищеної потужності. [2]



Рис. 1.5. Стенд для приймально-здавальних випробувань серійних гідроагрегатів - електрогідравлічних блоків управління. [5]

Висновки по розділу:

Існує велика кількість виробників, які займаються безпосередньо виготовленням дидактичних стендів. Кожен із цих стендів зазвичай створюється під одне зосереджене завдання. Тому поставлено за ціль створити стенд для дослідження об'ємних насосів.

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕНДУ.

ГІДРАВЛІЧНА СХЕМА І ОПИС ОБЛАДНАННЯ

Якість роботи технологічних машин з гідроприводом визначається як статичними так і динамічними характеристиками гідромеханізмів.

Статичні та динамічні характеристики гідромеханізмів зазвичай не лінійні через нелінійну залежність від сил і моментів тертя від швидкості руху, нелінійними витратними характеристиками дроселюючих елементів, нелінійна пружність робочого середовища, що містять нерозчинене повітря, еластичних елементів та гнучких шланг з високим тиском, комбінований режим роботи насосної станції, що живить гідросистеми [1, 2, 5].

Аналітичне дослідження статички та динаміки гідроприводів зазвичай потребують спрощення вихідних характеристик та їх лінеаризація. Завдання визначення умов застосування певних спрощень є актуальними та їх вирішується порівнянням результатів аналітичних розрахунків та експериментальних даних, які є особливо важливими при дослідженні складних гідравлічних систем, як гідравлічний привід автоматичною системою управління насосом змінної продуктивності, що широко використовується в технологічних мобільних машинах.

На рис.2.1 показана схема експериментального стенду для дослідження статичних та динамічних характеристик гідравлічного приводу з насосом змінної продуктивності. Основними його вузлами є виконавча частина з гідравлічною системою навантаження, основний насос змінного робочого об'єму з розробленою авторами автоматичною системою керування [3–5], станція підживлення основного насоса, розподільна частина, кондиціонери для робочої рідини (бак, фільтри, теплообмінник) і вимірювально-реєструюче обладнання.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконавча частина стенду складається

- силового циліндра Ц,
- шток якого підключений до лапи 10,
- лапа шарнірно прикріплена до стійки 9.
- Необхідні умови розміру та навантаження можна забезпечити вантажем 11
- змінити координати з'єднання штока циліндра Ц з лапою 10 за допомогою отворів 12.

Регульований дросель Др. 2 служать для імітації навантаження. Зниження провідності регульований дросель Др.2 забезпечує збільшення тиску в зливній порожнині гідроциліндра Ц і відповідно підвищення тиску на виході насоса до необхідної величини. Таким чином, коли перемикання розподільника Р2 може бути практично миттєво збільшувати чи зменшувати навантаження на поршні силового циліндра Ц.

Насосна частина підставки містить насос на підживлення НП, який подає робочу рідину з бакаБ через фільтри Ф1 і Ф2 до аксіально-поршневого регульованого насоса 1 з робочим об'ємом $q = 60 \text{ см}^3$. автоматична система управління насосом включає регулятор витрати і регулятор тиску.

Регулятор подачі із золотником 2 та пружиною 6 підтримує постійний перепад тиску на регульованому дроселі Др. 1. Регулятор тиску з золотником 3 і пружинами 7, 8 обмежують значення максимального тиску в напірній гідравлічній лінії під тиском і забезпечує безперервну роботу насоса в режимі постійної потужності. Запобіжні клапани КЗ1 і КЗ2 обмежують максимальний тиск в гідросистемі в аварійних режимах.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		22

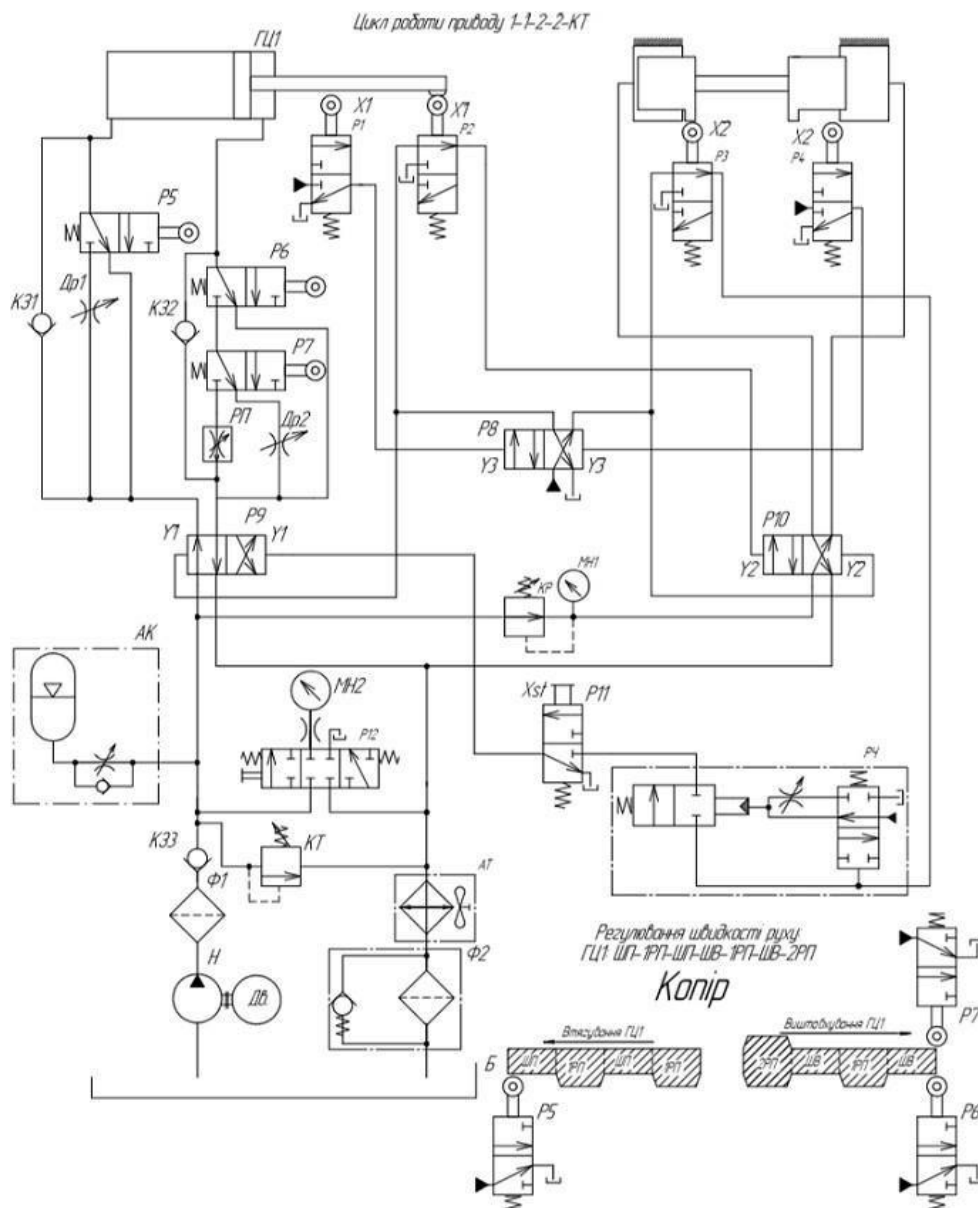


Рис. 2.1 Схема експериментального станду.

При робочих положеннях розподільника P1 система керування насосом змінної продуктивності у встановленому режимі працює наступним чином.

Тиск p_H і p_r , а також зусилля пружини 6 впливаючи на золотник 2, визначають таке його положення, при якому тиск p_C в циліндрі керування 4 урівноважує на планшайбі насоса момент, що створений тиском p_H в циліндрі керування 5 з підпружиненим поршнем. Таким чином, золотник 2 перебуває в рівновазі, коли перепад тисків p_H p_1 на дроселі Др.1 створює зусилля, рівне регульованому зусиллю його пружини 6. Будьяка зміна p викликає відповідну зміну кута нахилу, спрямовану у бік зменшення помилки.

Так наприклад, при збільшенні p золотник 2 зміщується вниз, і кут зменшується доти, поки p не досягне заданого значення. Змінюючи настроювання дроселя Др.1, можна змінювати подачу насоса. При значному рості величини тиску p_H спрацьовує регулятор тиску з золотником 3 і робоча рідина надходить до циліндра керування 4, переводячи планшайбу насоса так, що насос працює в режимі постійної потужності.

У процесі виконання роботи застосовувалася конструкція макетного зразка автоматичного регулятора для насоса змінної продуктивності. Конструкція макетного зразка при виконанні експериментальних досліджень використовується для підтвердження своєї дієздатності, визначення характеристик досліджуваного гідроприводу та його елементів, а також підтвердження адекватності розроблених математичних моделей.

На рис. 2.2 поданий макетний зразок автоматичного регулятора подачі для насоса змінної продуктивності.

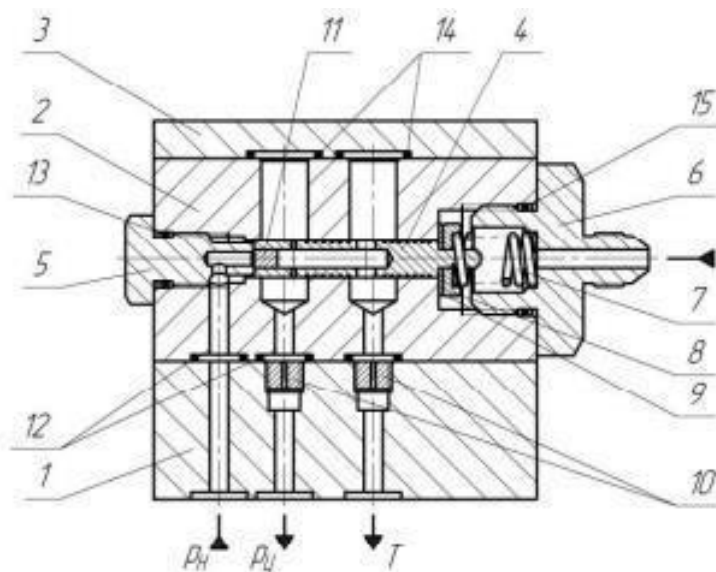


Рис. 2.2. Макетний зразок регулятора подачі для насоса змінної продуктивності. [6]

Макетний зразок регулятора подачі складається з перехідної плити 1, корпуса 2 і пластини 3. Корпус регулятора подачі містить золотник 4, який фіксується в ньому з однієї сторони за допомогою пробки 5, а з іншої –

перехідника 6 з пружиною 7. Перехідна плита 1 приєднується безпосередньо до корпусу насоса і містить два дроселі 10. Ущільнення регулятора здійснюється гумовими кільцями 12, 13, 14 і 15.

Регулятор подачі працює таким чином. При відключених споживачах тиск p_r в лінії керування регулятором практично відсутній. Потік створений насосом перемістить золотник 4 вправо, стискаючи пружину 7, і через один з дроселів 10 потрапить в циліндр керування положенням планшайби насоса. Створений в циліндрі тиск $p_{Ц}$ перемістить планшайбу таким чином, що потік насоса буде мінімальним і компенсуватиме тільки витоки в гідроприводі. Тиск p_H на виході насоса забезпечується у межах 1–2 МПа.

При підключенні споживача буде зростати тиск p_r у лінії керування регулятором. Золотник 4 переміститься у таке положення при якому зазор між золотником і кромками корпусу 2 зі сторони пробки 5 буде підтримувати таку величину потоку до циліндра керування положенням планшайби насоса, яка забезпечить постійність перепаду тиску на регульованому дроселі Др.1 (рис.1) незалежно від коливань тиску p_r . Такий режим роботи насоса називають режимом LS-регулювання, а запропонований регулятор подачі LSрегулятором. Змінюючи товщину диска 9, можна регулювати величину попереднього стиснення пружини 7 і тим самим змінювати перепад тиску p_H p_1 у межах 0,8–2 МПа.

На місце плити 3 до корпусу 2 регулятора подачі можна приєднати корпус регулятора тиску, що побудований по модульному принципу. І тоді, у випадку коли тиск на виході насоса p_H буде досягати значних величин регулятор тиску забезпечить роботу насоса у режимі постійної потужності. Розроблений стенд дозволяє проводити фізичне моделювання функціонування гідроприводу в широкому діапазоні зміни навантаження на виконавчому гідродвигуні і фіксування процесів, що проходять в ньому, за допомогою осцилографування. У процесі виконання експериментальних досліджень при вимірюванні характеристик досліджуваних об'єктів

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовувалися вимірювальні засоби, прилади і датчики як промислового, так і власного виготовлення. Манометри Мн.1, 2, 3, 4, 5 дозволяють реєструвати величину тиску робочої рідини в різних точках гідросистеми стенда при статичних режимах навантаження. Величини тисків у гідролініях гідроприводу при динамічних режимах навантаження вимірювалися і осцилографувалися за допомогою тензOMETричних давачів Д1 і Д2, частота обертання вала гідромотора М за допомогою тахогенератора ТГ, преміщення штока гідроциліндра Ц за допомогою ємнісного давача Д3. В конструкції стенда передбачено також пристрої для електротарировки датчиків перед початком запису робочих процесів.

Експериментальний стенд оснащений так званим віртуальним приладом – вимірювальною апаратурою виконаною на базі плат АЦП-ЦАП, що використовує в якості пристрою керування і відображення звичайний персональний комп’ютер (ПК). Такий прилад надає можливість створення компактної, мобільної, гнучкої і недорогої вимірювальної системи, яка придатна для широкого кола задач в самих різноманітних областях.



Рис. 2.3. Модуль АЦП-ЦАП-ЦВВ з інтерфейсом USB [8]

Цифровий запам’ятовуючий осцилограф ADA-1406 представляє собою модуль, який використовується в якості зовнішнього пристрою ПК, що оснащений паралельним USBпортом і призначений для широкого діапазону

осцилографуючих вимірів. Цей прилад дозволяє спостерігати форму сигналу з використанням восьми аналогових входів в полосі частот від 0 до 350 кГц. Модуль постачається з DLL бібліотеками для роботи в середовищі Win98/200/XP і програмою графічної візуалізації початкового рівня. Програмне забезпечення дає можливість повного керування приладом, а також пропонує ряд сервісних можливостей (експорт/імпорт даних, математична обробка сигналів, розширені виміри, цифрова фільтрація, аварійна сигналізація в режимі самописця і т. д.). На рис.2.4 показана осцилограма перехідного процесу зміни тиску рН на виході основного насоса, при його вмиканні.

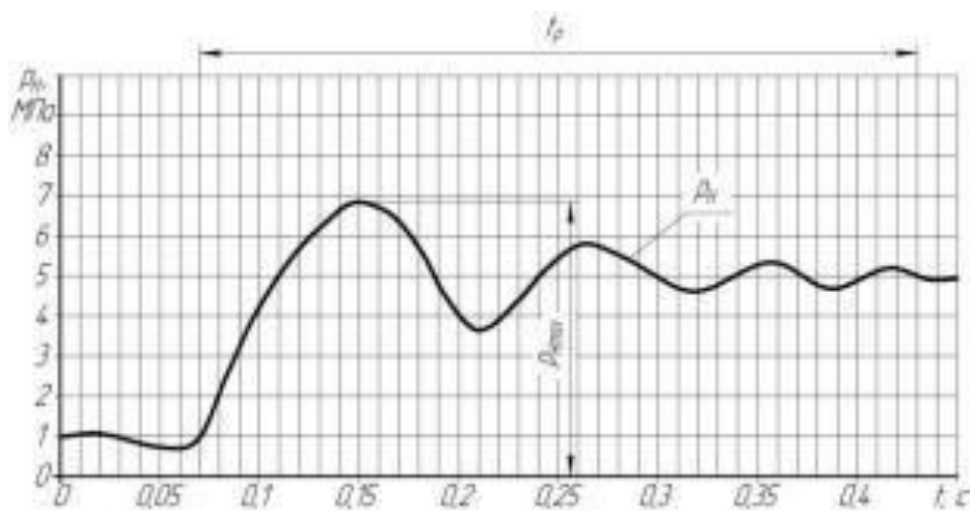


Рис. 2.4. Осцилограма перехідного процесу в гідроприводі [10]

Осцилограма записана при наступних значеннях параметрів гідроприводу:

- об'єм порожнини нагнітання, що прилягає до основного насоса $W_H = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
- об'єм циліндра керування положенням планшайби насоса і порожнини, що прилягає до нього $W_{Ц} = 0,06 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
- ефективні площі силового гідроциліндра $F_1 = 1,59 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, $F_2 = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;

- діаметр золотника регулятора подачі $dP = 6 \cdot 10^{-3}$ м;
- маса вантажу на лапі силового гідроциліндра $m = 20$ кг.
- При вмиканні основного насоса, тиск на виході насоса

Висновки Дослідження: Виконані на описаному стенді, дозволяють рекомендувати його для вивчення експериментальних характеристик гідроприводу з автоматичною системою керування насосом змінної продуктивності.

Пневмосистема, яка складається з трьох приводів розташована, як показано на рис. 2.5 та працює за наступним циклом: $3-1-KT-\bar{3}-2-\bar{2}, \bar{1}$.

Вид керування: шляхове, крім ходу вперед приводу 1, що контролюється по зусиллю.

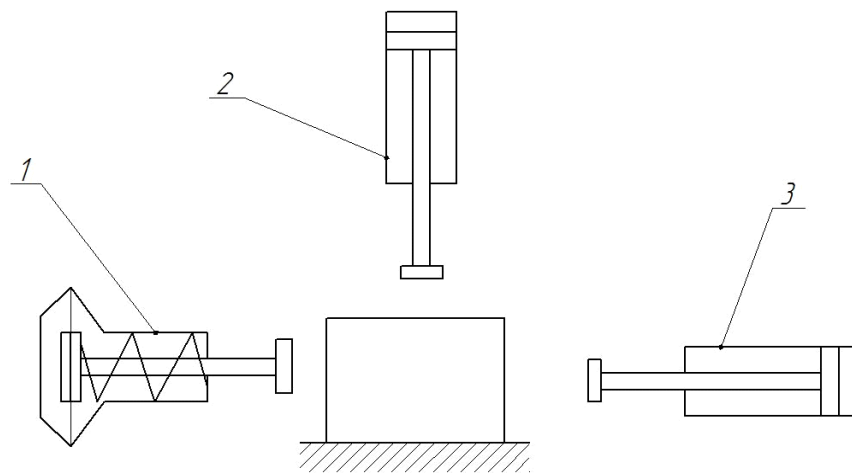


Рис. 2.5. Схема розташування приводів.

Данні для розрахунку пневмоциліндра (Ц1) основного приводу наступні:

- $p_m = 0,5$ МПа;
- $s = 0,025$ м ;
- $m_1 = 3$ кг;
- $P_2 = 5.0$ кН;
- $P_0 = 0.03$ кН;
- $V_0 / F \cdot \chi_s = 0,03$;
- $l_{T1} = 8$ м;
- $l_{T2} = 1,0$ м;

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		28

- $X_{ст}=0,05$;

- $t_{оч} = 1,5$ с,

де, p_m - абсолютний тиск повітря, що підводиться;

s -довжина робочого ходу приводу;

m_1 - маса рухомих частин приводу (крім вантажу, що переміщується);

P_2 - технологічне зусилля (корисне навантаження, P_0 - зусилля попереднього підтиску зворотної пружини;

$V_0/FЧс$ - відносна величина шкідливого обсягу робочої порожнини власне пневмоциліндра без врахування об'єму пневмолінії, що зв'язує порожнину з пневморозподільником;

l_{T1} - довжина трубопроводу від пневморозподільника до точки підводу живлення з магістралі стиснутого повітря;

l_{T2} - довжина трубопроводу від розподільника основного приводу до його робочої порожнини;

$X_{ст}$ - статична характеристика мембрани;

$t_{оч}$ - очікуваний час спрацювання основного приводу;

2.1. Принципова пневматична схема приводу

Виходячи з завдання на курсову роботу була розроблена принципова схема пневматичної системи яка робить в автоматичному режимі за заданим

циклом $3-1-KT-\bar{3}-2-\bar{2},\bar{1}$.

В якості датчиків станів в пневмосистемі використані шляхові пневмоклапани. Перший привод керується шляховим пневмоклапаном та клапаном послідовності .

Виконавчі приводи зображені в їх вихідному положенні у відповідності із завданням на КР. Для безпосереднього управління приводами використані пневморозподільники з двостороннім пневмоуправлінням. Їх особливістю є

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		29

механічне «запам'ятовування» переключеного положення розподільного елемента.

Кількість пневморозподільювачів у схемі відповідає числу виконуючих приводів. Для кожного пневморозподільювача на схемі виконується підвід живлення, вихід в атмосферу і лінії зв'язку з порожнинами приводу. Відповідно до виду управління, вказаному у завданні, в схемі встановлюються датчики станів, що контролюють роботу виконавчих приводів і подають вхідні сигнали управління в логічну частину пневмосистеми. Управління в системі (крім ходу вперед основного приводу) шляхове, тому за датчики станів використовуються шляхові пневмоклапани, які переключаються під механічним впливом рухомих елементів приводу в їх крайніх положеннях. На схемі це умовно представляється у вигляді кулачків, що закріплені на штоках пневмоциліндрів, і пневмоклапанів, встановлених на шляху їх руху в їх крайніх положеннях. Для основного приводу використовується контроль по тиску, який здійснюється за допомогою клапана послідовності, який в підключається до штокової порожнини приводу, де контролюється тиск.

Опис роботи принципової пневматичної схеми приводу

Розроблена схема пневматичної системи представлена рис. 2.6.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

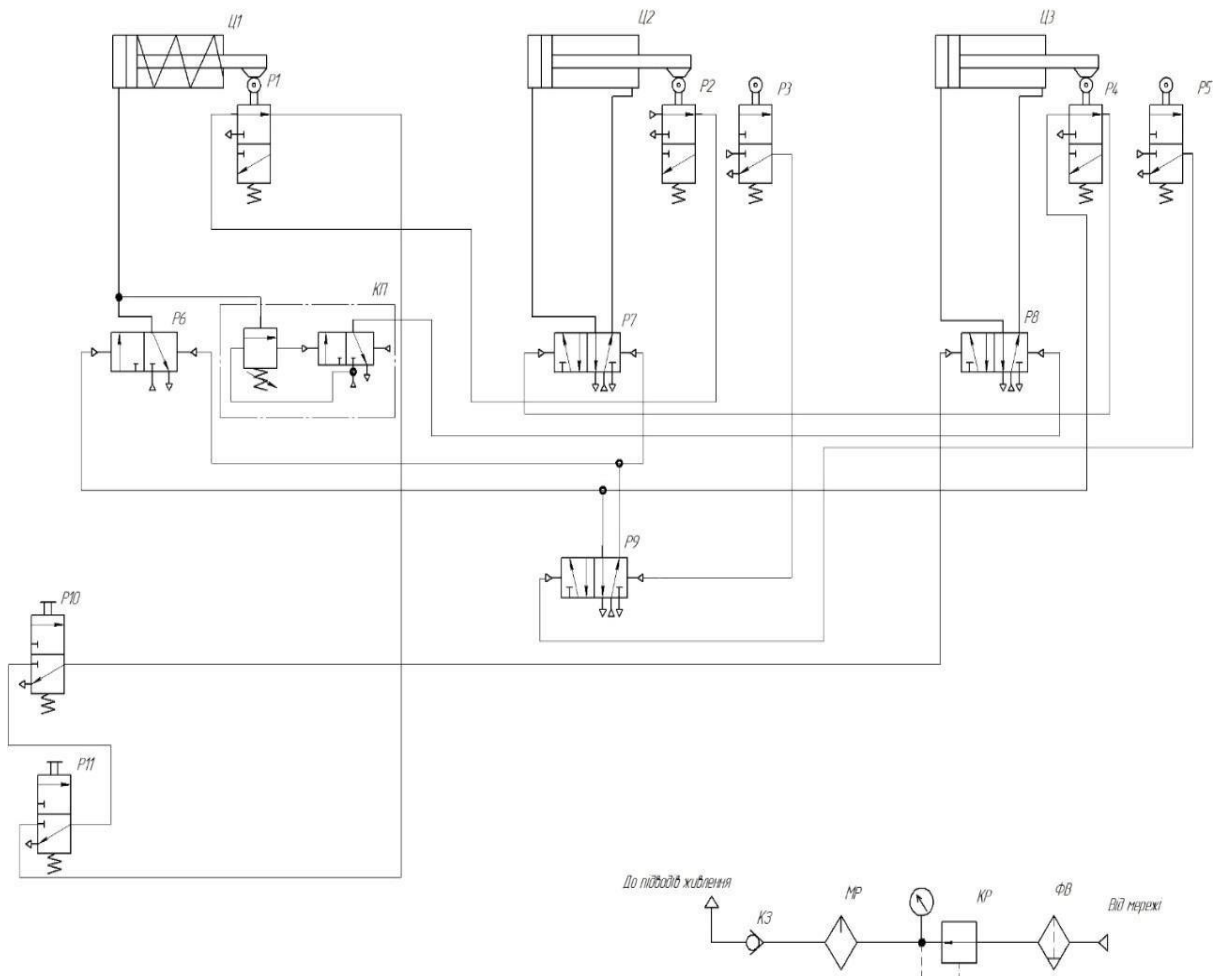


Рис. 2.6. Схема пневматична принципова

Робота системи починається з переключення розподільників P10 і P11 у верхнє положення. Керування двома кнопками зроблено для того щоб усунути можливість впливу оператора на операцію затискання яка проводиться циліндром 1. В результаті натиснення кнопок P10 і P11 розподільник P8 перемикається в ліве положення – Ц3 виїжає і перемикає датчик P5, який подає сигнал на розподільник P6 циліндра Ц1. Коли Ц1 перемістився вліво спрацьовує клапан послідовності. Після цього Ц3 повертається у вихідне положення, перемикається датчик P4 і Ц2 виштовхується. Після натискання на датчик P3 циліндри Ц1 і Ц2 повертаються назад у початкове положення.

Для повторення циклу необхідно повторно натиснути на P11 і P10

2.2. Статичний розрахунок основного приводу

При проектуванні пневмоциліндрів проводять статичний та динамічний розрахунок силових виконавчих приладів. При статичному розрахунку знаходять та обирають конструктивні розміри. Для пневмоциліндру розраховують та обирають діаметр циліндру D , діаметр штоку d та діаметр d_y умовного перерізу приєднувальних отворів та повітропроводів. Вихідними даними для розрахунку є: підведений абсолютний тиск стиснутого повітря p_n , технологічне /корисне/ навантаження P_2 , довжина ходу S , маса приєднаних до пневмоциліндру рухомих частин m , просторове розташування пневмоциліндру при його роботі, потрібний /або допустимий / час спрацювання або середня швидкість руху. Вони можуть доповнюватися даними про температурні умови роботи, які враховуються при виборі типу ущільнень та конструктивного матеріалу, о габаритних обмежень та інше.

Для мембранної камери односторонньої дії з зворотною пружиною 1 визначаємо діаметр D_e умовного поршня (приймаємо $\chi_p \approx 0,5$)

$$D_e = 1,13 \sqrt{\frac{P_2}{p_n \cdot \chi_p}} = 1,13 \sqrt{\frac{5 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 10^6 \cdot 0,5}} = 0,160 \text{ м.}$$

По знайденому значенню D_e визначаємо ефективну площу мембрани $F_e = 0,25\pi D_e^2$, по якій, задавшись величиною b , знаходять діаметр закладки D і діаметр опорного диску d .

$$F_e = 0,25\pi D_e^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,16^2 = 0,02 \text{ м}^2.$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки, робочий хід s штоку мембранної камери не перевищує $0,5x_{ст}$
 $s=0,025$ м (з урахуванням витяжки мембрани) для розрахунку ефективної
 площі мембрани використовуємо формулу (для $\beta=0,7$)

$$F_e = \frac{\pi}{12}(D^2 + D \cdot d + d^2) = \frac{\pi \cdot D^2}{12}(1 + \beta + \beta^2).$$

Звідси маємо діаметр корпусу мембрани

$$D = \sqrt{\frac{12F_e}{\pi(1 + \beta + \beta^2)}} = \sqrt{\frac{12 \cdot 0,02}{3,14 \cdot (1 + 0,7 + 0,7^2)}} = 0,205 \text{ м},$$

Діаметр опорного диску

$$d = \beta D = 0,7 \cdot 0,205 = 0,144 \text{ м}.$$

Знайдені величини D і d округляємо до ближнього значення з нормованого
 ряду діаметрів по ГОСТ 12447-80: $D=200$ мм; $d=160$ мм.

Діаметр штока знаходимо із співвідношення

$$d_{ш} = (0,25 \dots 0,32) \cdot d = (0,25 \dots 0,32) \cdot 160 = 40 \dots 51,2 \text{ мм}.$$

Обираємо $d_{ш} = 40 \text{ мм}.$

Величину ходу s штока мембранної камери рекомендується [6] вибирати для
 діапазону тисків $p_m=0,4 \dots 0,8$ МПа із співвідношення $s=(0,08 \dots 0,15)D$. В
 нашому випадку $s=0,025$ м і відповідає вимогам

$$s = (0,08 \dots 0,15) \cdot 0,20 = (0,016 \dots 0,030) \text{ м}.$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умовний прохід приєднувальних отворів пневмоциліндру рекомендується вибирати за співвідношенням Якщо при проектуванні заданий час спрацювання пневмоциліндру, що очікується, $t_{оч}$, то

$$d_y \cong D \sqrt{\frac{s}{w_{сер} t_{оч}}}, \quad (3)$$

де $w_{сер} = 17$ м/сек,

$t_{оч}$ - заданий час спрацювання пневмоциліндру, що очікується.

$$d_y \cong 0,2 \sqrt{\frac{0,025}{17 \cdot 1}} = 0,0076 \text{ м} = 7,6 \text{ мм}. \quad (4)$$

Знайдене значення d_y приєднувального отвору пневмоциліндру округляється до найближчого значення з нормалізованого ряду і вибирається відповідна йому різьба

Приймаємо різьбу 10 мм, K1/4''

2.3 Вибір трубопроводів і пневмоапаратури

Знайдене при статичному розрахунку основного приводу значення умовного проходу приєднувальних отворів використовується для вибору трубопроводів, які зв'язують порожнини приводу з пневморозподільником, а також самого пневморозподільника. Їх прохідні розтини повинні відповідати вибраному значенню d_y .

Для допоміжних приводів, щоб запобігти довгої номенклатури пневмоапаратів та трубопроводів, які використовують в пневмосистемі, рекомендується пневморозподілювачі та їх лінії зв'язку вибирати аналогічними основному приводу, як це робиться звичайно на практиці.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Маслорозпилювач МР6

Таблиця 2.1

Умовний прохід, мм	6
Тиск, МПа	
номінальний	1,0
мінімальний	0,2
Витрата повітря при тиску 0,4 МПа, м ³ /хв.	
максимальна	0,23
мінімальна	0,04
Втрата тиску при вказаній витраті повітря, МПа	не більше 0,025
Пропускна здатність K _v , л/год.	0,6
Діапазон регулювання подачі масла при постійній витраті повітря, капл/хв.	
максимальному	0-40
мініимальному	0-15
Корисна ємність резервуара для масла, см ³	200
Довговічність, г	6000
Маса, кг	1,00

Зворотній пневмоклапан П-06 (ГОСТ 21324-75)

Таблиця 2.2

Умовний прохід, мм	6
Приєднувальна різьба	К 1/8"
Номінальний тиск, МПа	0,1
Витрата повітря при тиску 0,6 МПа, м ³ /хв.	0,8
Втрата тиску при вказаній витраті повітря, МПа	не більше 0,003
Пропускна здатність K _v , л/год.	0,28
Довговічність, г	10 ⁴
Маса, кг	0,350

Пневмо клапан послідовності В62-21

Таблиця 2.3

Умовний прохід, мм	4
Пропускна здатність K_v , л/хв.	2,2
Тиск, МПа	
номінальний	0,63
Втрата тиску при витраті повітря 0,4 Мпа, м ³ /хв.	0,02

Пневморозподільник типу Camozzi 338-915 (P7-P8)

Таблиця 2.4

Умовний прохід, мм	0,6
Приєднувальна різьба	K1/8"
Тиск номінальний, МПа	0,1
Робочий тиск мінімальний, МПа	0,05
Тиск керування, мінімальний, МПа	0,25
Пропускна здатність K_v , л/год	0,55
Час спрацювання, с.	
включення	0,063
виключення	0,08
Маса, кг	3,5

Пневморозподільник П РК-3 (P1-P5, P10, P11)

Таблиця 2.5

Умовний прохід, мм	4
Тиск, номінальний, МПа	1
Витрата повітря при тиску 0,4 МПа, м ³ /хв.	0,032
Втрата тиску при вказаній витраті повітря, МПа	0,02
Пропускна здатність K _v , л/год.	0,27
Зусилля, необхідне для відкриття клапану при номінальному тиску, кг	не більше 3,5 / 4,5
Довговічність, цикл	1*10 ⁶
Маса, кг	0,46/0,28

Редукційний пневмоклапан BV57-13

Таблиця 2.6

Умовний прохід, мм	6
Приєднувальна різьба	K 1/8"
Тиск номінальний, МПа	2
Діапазон регулювання тиску на виході (тиск на лаштування), МПа	0,25-0,63
Номінальна витрата повітря при тиску на виході 0,4 МПа, м ³ /хв.	0,4
Зниження тиску на виході при зміні витрати повітря від 0 до номінальної величини, МПа	не більше 0,3
Збільшення тиску на виході при зниженні тиску на вході від номінального значення до тиску настройки, МПа	не більше 0,04
Перевищення тиску на вих. над тиском настройки, при якому відкр. клапан відводу тиску в атмосферу, МПа.	не більше 0,18
Довговічність, г	5000
Маса, кг	1,4

Фільтр вологовідділювач П-ФВ-10А

Таблиця 2.7

Умовний прохід, мм	10
Приєднувальна різьба	$K \frac{3}{8}$,
Тиск, МПа	
Номінальний	0,1
Мінімальний	0,01
Витрата повітря, м ³ /хв.	1,1
Номінальна	1,25
Мінімальна	0,25
Втрата тиску при номінальній витраті, МПа	не більше 0,008
Пропускна здатність K_v , л/год.	2,2
Ступінь вологовідділювання, %	не більше 90
Номінальна тонкість фільтрації, мкм	40
Довговічність, год.	6000
Маса, кг	2,00

Трубопроводи

Таблиця 2.8

Вид трубопроводів: труби пластикові (ТУ 6-05-021-204-73).	
Умовний прохід, мм	10
Товщина стінки, мм	1,2
Гідравлічний тиск випробування, МПа	2,5
Матеріал: полівінілхлорид ПБ-2 ТУ 6-05-021-204-73	

Пневмоциліндр Ц2

Таблиця 2.9

Пневмоциліндр FESTO ADN-100-32 -P-A	
Діаметр поршня, мм	100
Діаметр штока, мм	32
Хід, м	0,08

Пневмоциліндр Ц3

Таблиця 2.10

Пневмоциліндр FESTO ADN-100-32 -P-A	
Діаметр поршня, мм	100
Діаметр штока, мм	32
Хід, м	0,08

2.4. Динамічний розрахунок основного приводу

Динамічний розрахунок проводиться для циліндру²

Задаюь параметрами для приводу двосторонньої дії:

- хід $S = 0.08$ м;
- Діаметр поршня $D = 0.1$ м;
- Діаметр штока $d = 0.032$ м.

При динамічному розрахунку визначаємо час спрацювання приводу, під котрим розуміють час t руху поршня в одному напрямку. Цей час складається з трьох складових : t_I – час підготовчого періоду – з початку переключення керуючого пристрою до початку руху поршня; t_{II} – час руху поршня, протягом котрого поршень пройде весь заданий робочий шлях; t_{III} – час кінцевого періоду, впродовж яєого тиск в робочій порожнині збільшується до потребуємого значення.

В залежності від функціонального призначення приводу ті або інші інтервали часу являються найбільш суттєвими. У транспортуючих пневмоприводах є найбільш суттєвим є час руху поршня, а заключний період не розглядається.

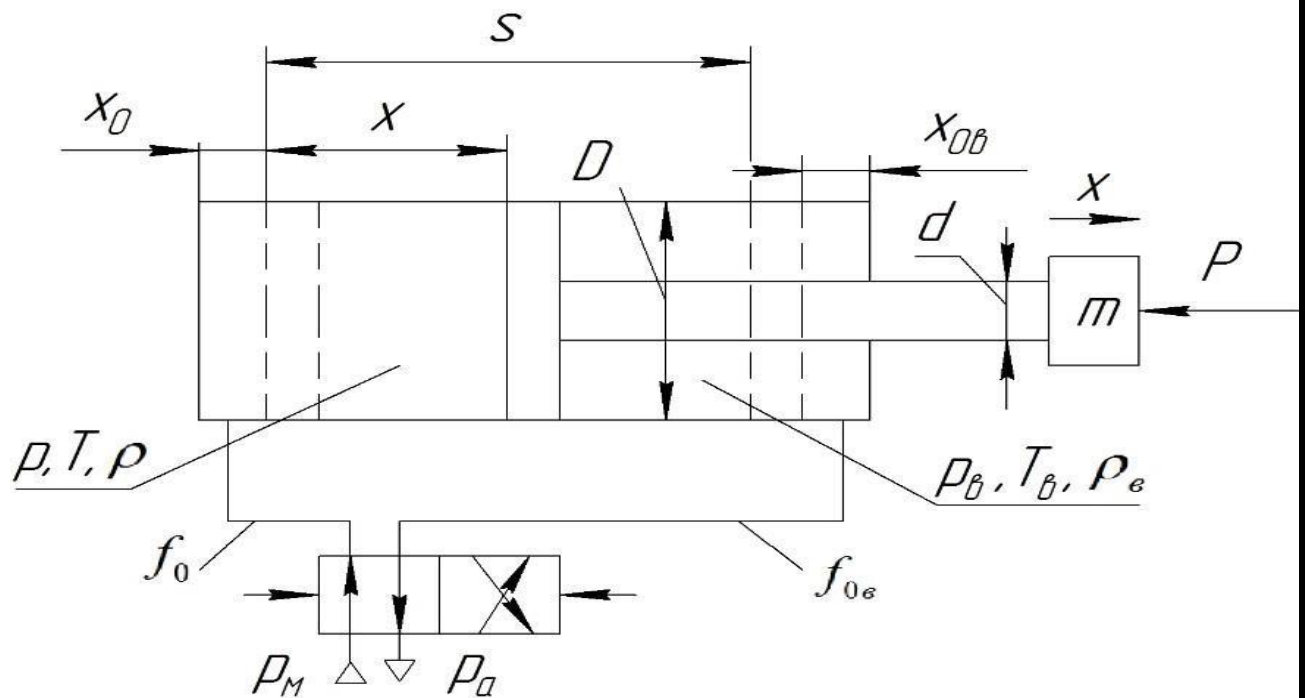


Рис. 2.7 Розрахункова схема пневмоприводу

На рис. 2.7 показана розрахункова схема пневмоприводу, основним елементом к отрого є поршневий пневмоциліндр двосторонньої дії.

Його положення визначається поточною координатою x . В початковому положенні /показано пунктиром/ $x = 0$, але між поршнем та кришкою циліндру завжди є невеликий об'єм – шкідливий об'єм. Фіктивна координата x_0 , характеризує мінімальний розрахунковий об'єм робочої порожнини циліндру, котрий повинен бути наповнений стиснутим повітрям, перед тим як поршень почне рух. Фактичний мінімальний об'єм робочої порожнини дорівнює додатку шкідливого об'єму до об'єму трубопроводу, що зв'язує робочу порожнину з виходом пневморозподілювача. Однак при розрахунку треба

враховувати, що умови наповнення порожнини та об'єму рівномірно розподіленого по довжині трубопроводу не є однаковими, тому фактичний об'єм трубопроводу замінюється його розрахунковим (приведеним) значенням. Координата x_0 розраховується по формулі:

$$x_0 = \frac{V_{P\min}}{F} = \frac{V_0 + V_{PT}}{F}, \quad (5)$$

де $V_{P\min}$ – мінімальний розрахунковий об'єм робочої порожнини; F – площа поршня з боку робочої порожнини; V_0 – шкідливий об'єм циліндру; V_{PT} – розрахунковий (приведений) об'єм трубопроводу.

$$V_0 = 0,015 \cdot F \cdot s = 0,015 \frac{\pi \cdot D^2}{4} s = 0,015 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot 0,08 = 3,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

де s – робочий хід привода.

Пізніше знайдемо, що

$$V_{PT} = 67,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Підставимо значення в і знайдемо x_0 :

$$x_0 = \frac{9,4 \cdot 10^{-6} + 67,8 \cdot 10^{-6}}{\frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4}} = 0,01 \text{ м}.$$

2.4 Знаходження пропускної здатності пневмоліній

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		41

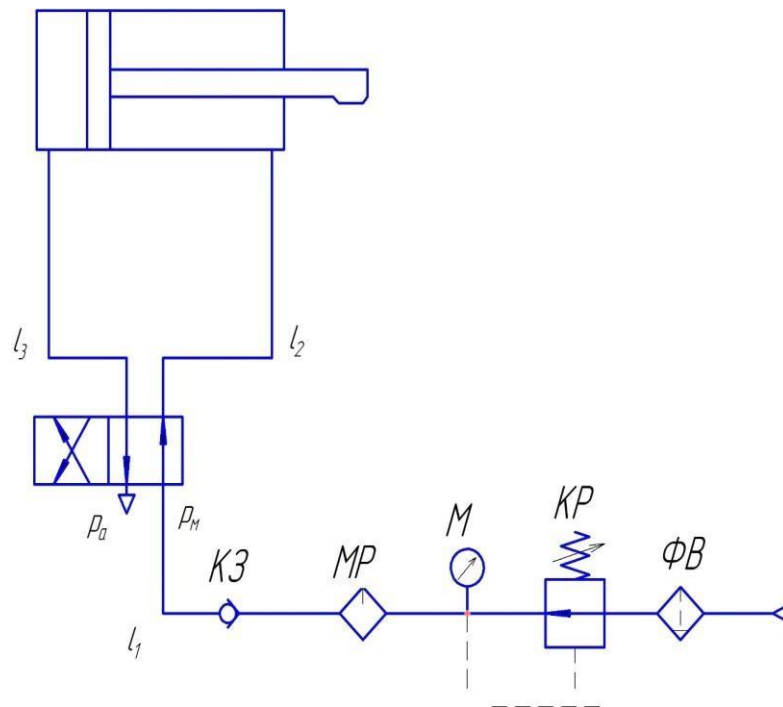


Рис. 2.8 Схема розрахункова пневматична

Так як напірна пневмолінія нашої схеми складається з двох частин трубопроводу, що зв'язують між собою елементи пневмоапаратури, на яких будемо визначати пропускну здатність напірної пневмолінії, то ефективна площа перерізу являє собою приведену величину.

При послідовному з'єднанні елементів та ділянок напірної пневмолінії маємо:

$$\frac{1}{f_e^2} = \frac{1}{f_{e_{MP}}^2} + \frac{1}{f_{e_{K3}}^2} + \frac{1}{f_{e_{T1}}^2} + \frac{1}{f_{e_p}^2} + \frac{1}{f_{e_{T2}}^2} \quad (6)$$

Значення пропускну здатності: для розподільника P7 $K_v=0,55$ л/год., для маслорозпилювача $K_v=0,6$ л/год., для зворотного пневмоклапана 12-1К $K_v=0,28$ л/год.

По формулі (7) знайдемо ефективну площу розподільника, маслорозпилювача, фільтра-вологовідділювача і зворотного пневмоклапана.

$$f_e = \frac{K_v}{5 \cdot 10^4}, \quad (7)$$

$$f_{eP} = \frac{K_{VP}}{5 \cdot 10^4} = \frac{0.55}{5 \cdot 10^4} = 0.11 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$f_{e\Phi B} = \frac{K_{V\Phi B}}{5 \cdot 10^4} = \frac{2,2}{5 \cdot 10^4} = 0.44 \cdot 10^{-4};$$

$$f_{eM} = \frac{K_{VM}}{5 \cdot 10^4} = \frac{0.6}{5 \cdot 10^4} = 0.12 \cdot 10^{-4};$$

$$f_{eK3} = \frac{K_{VK3}}{5 \cdot 10^4} = \frac{0.28}{5 \cdot 10^4} = 0.056 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

Знайдемо f_{eT1} , для цього знайдемо коефіцієнт сумарних витрат ζ_1 по формулі:

$$\zeta_1 = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{l_{T1}}{d} = \frac{0,03}{2} \cdot \frac{8}{0,010} = 7,5 \quad (8)$$

де, $\lambda=0,03$ – коефіцієнт тертя для повітря,

$d=0,01\text{м}$ – діаметр трубопроводу,

$l_{T1}=8\text{ м}$ – довжина першої ділянки трубопроводу.

За величиною ζ_1 , використовуючи графік $\mu=f(\zeta)$ (рис. 5), знаходимо величину

$$\mu_1=0,4.$$

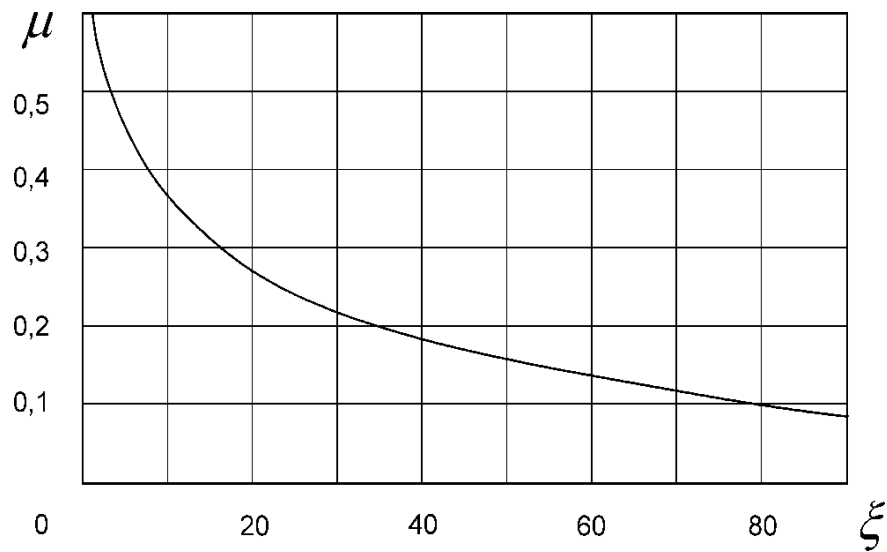


Рис. 2.9 Графік залежності $\mu=f(\zeta)$.

Потім розраховуємо ефективну площу:

$$f_{eT1} = \mu_1 \cdot f_{T1}, \quad (9)$$

де, f_{T1} – площа перетину трубопроводу.

$$f_{T1} = \frac{\pi \cdot d_{T1}^2}{4}.$$

Підставимо значення:

$$f_{eT1} = 0,4 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,010^2}{4} = 45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Так само і для другої ділянки трубопроводу:

Коефіцієнт сумарних витрат ζ_2 :

$$\zeta_1 = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{l_{T2}}{d} = \frac{0,03}{2} \cdot \frac{0,8}{0,010} = 0.75 \quad (10)$$

де, $\lambda=0,03$ – коефіцієнт тертя для повітря,

$d=0,01\text{м}$ – діаметр трубопроводу,

$l_{T2}=0,5\text{м}$ – довжина другої ділянки трубопроводу.

За величиною ζ_2 , використовуючи графік $\mu=f(\zeta)$ (рис. 5), знаходимо величину $\mu_2=0,8$.

Потім розраховуємо ефективну площу:

$$f_{e_{T_2}} = \mu_2 \cdot f_{T_2}, \quad (11)$$

де f_{T_2} – площа перетину трубопроводу.

$$f_{T_2} = \frac{\pi \cdot d_{T_2}^2}{4}.$$

Підставимо значення:

$$f_{e_2} = 0,8 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,010^2}{4} = 45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Підставимо отримані значення в формулу (6), отримаємо:

$$\frac{1}{f_e^2} = \frac{1}{(11 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(44 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(5,6 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(12 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(45 \cdot 10^{-6})^2};$$

$$f_e = \frac{1}{\sqrt{3,7 \cdot 10^9}} = 1,64 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

2.5 Знаходження пропускної здатності пневмолінії вихлопу

Так як пневмолінія нашої схеми складається з двох частин трубопроводу, що зв'язують між собою елементи пневмоапаратури, на яких будемо визначати пропускну здатність пневмолінії вихлопу, то ефективна площа перетину являє собою приведену величину.

При послідовному з'єднанні елементів та ділянок пневмолінії вихлопу маємо:

$$\frac{1}{f_{ев}^2} = \frac{1}{f_{ев_{T_2}}^2} + \frac{1}{f_{ев_p}^2} \quad (12)$$

Значення пропускної здатності: для розподільника Р7 $K_v=0,55$ л/год.

По формулі (12) знайдемо ефективну площу розподільника.

$$f_{ев} = \frac{K_v}{5 \cdot 10^4}, \quad (13)$$

$$f_{ев1} = \frac{K_{vp}}{5 \cdot 10^4} = \frac{0,55}{5 \cdot 10^4} = 0,11 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Знайдемо $f_{евT2}$, для цього знайдемо коефіцієнт сумарних витрат ζ_2 по формулі:

$$\zeta_2 = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{l_{T2}}{d}, \quad (14)$$

де $\lambda=0,03$ – коефіцієнт тертя для повітря,

$d=0,010$ м – діаметр трубопроводу,

$l_{T2}=0,5$ м – довжина першої ділянки трубопроводу.

$$\zeta_{e2} = \frac{0,03}{2} \cdot \frac{0,5}{0,010} = 0,75.$$

За величиною $\zeta_{в2}$, використ. графік $\mu=f(\zeta)$ (рис. 5,1), знаходимо величину $\mu_{в2}=0,6$.

Потім розраховуємо ефективну площу:

$$f_{евT2} = \mu_{e2} \cdot f_{ев1}, \quad (15)$$

де $f_{вT2}$ – площа перерізу трубопроводу.

$$f_{ев2} = \mu \cdot \frac{\pi \cdot d_{T2}^2}{4} = 0,6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,010^2}{4} = 67,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставимо отримані значення в формулу (12), отримаємо:

$$\frac{1}{f_{es}^2} = \frac{1}{(67,9 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(11 \cdot 10^{-6})^2} = 0,065 \cdot 10^{10} \text{ м}^2;$$

$$f_{ев} = \frac{1}{\sqrt{0,065 \cdot 10^{10}}} = 39,176 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

2.6 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку напірної пневмолінії

Розроблено метод врахування розподіленого об'єму трубопровода шляхом його приведення до зосередженого об'єму. Розрахунковий (приведений) об'єм визначається з виразу:

$$V_{PT} = k_v \cdot V_T, \quad (16)$$

де V_T – фактичний об'єм трубопровода;

$$V_T = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot l_{T2};$$

k_v – коефіцієнт приведення розподіленого об'єму до зосередженого. Коефіцієнт k_v знаходиться по формулі:

$$k_v = \frac{f_e}{f_e}, \quad (17)$$

де f_e – ефективна площа перерізу пневмолінії;

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

f'_e – ефективна площа перерізу тієї ж пневмолінії, але знайдена з урахуванням половини гідравлічного опору ділянки трубопровода, для якого визначається розрахунковий об'єм.

Знайдемо ефективну площу на ділянці l_{T2} , із якої визначимо розрахунковий об'єм:

$$f'_{e_{T2}} = \mu_2 \cdot f'_{T2}. \quad (18)$$

Знайдемо для половини ділянки l_{T2} значення ζ'_2 :

$$\zeta'_2 = \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot l_{T2}}{d} = \frac{1}{2} \cdot 0,03 \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot 0,5}{0,010} = 0,375.$$

За величиною ζ'_2 використовуючи графік $\mu=f(\zeta)$ (рис. 5.1), знаходимо величину

$$\mu'_2 = 0,9$$

Підставимо знайдені значення в (18) та отримаємо:

$$f'_{e_{T2}} = 0,9 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,010^2}{4} = 101,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Щоб знайти f'_e скористаємось формулою .

$$\frac{1}{f'^2_e} = \frac{1}{f^2_{e_{MP}}} + \frac{1}{f^2_{e_{K3}}} + \frac{1}{f^2_{e_{T1}}} + \frac{1}{f^2_{e_p}} + \frac{1}{f^2_{e_{T2}}} \quad (19)$$

$$\frac{1}{f_e'^2} = \frac{1}{(101,7 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(44 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(11 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(12 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(5,6 \cdot 10^{-6})^2}$$

$$f_e' = \frac{1}{\sqrt{3,74 \cdot 10^9}} = 1,644 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Знайдені значення підставимо в (17):

$$k_v = \frac{1,64 \cdot 10^{-5}}{1,644 \cdot 10^{-5}} = 0,99.$$

Далі підставимо k_v у формулу (16) і знайдемо V_{PT} :

$$V_{PT} = 0,99 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,010^2}{4} \cdot 0,6 = 67,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному
розрахунку пневмолінії вихлопу

Розрахунковий (приведений) об'єм лінії вихлопу визначимо з виразу:

$$V_{PT\theta} = k_{v\theta} \cdot V_{T\theta}, \quad (20)$$

де V_{TB} – фактичний об'єм трубопровода;

$$V_{T\theta} = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot l_{T2\theta};$$

$k_{v\theta}$ – коефіцієнт приведення розподіленого об'єму до зосередженого.

Коефіцієнт $k_{v\theta}$ знаходиться по формулі:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$k_{\text{вк}} = \frac{f'_{\text{ев}}}{f'_{\text{ев}}}, \quad (21)$$

де $f'_{\text{ев}}$ – ефективна площа перерізу пневмолінії;

$f'_{\text{ев}}$ – ефективна площа перерізу тієї ж пневмолінії, але знайдена з урахуванням половини гідравлічного опору ділянки трубопровода, для якого визначається розрахунковий об'єм.

Знайдемо ефективну площу на ділянці $l_{\text{T2в}}$, із якої визначимо розрахунковий об'єм:

$$f'_{e_{T_2}} = \mu_2 \cdot f'_{T_2}. \quad (22)$$

Знайдемо для половини ділянки $l_{\text{T2в}}$ значення ζ'_2 :

$$\zeta'_2 = \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot l_{T_{2в}}}{d} = \frac{1}{2} \cdot 0,03 \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot 0,5}{0,010} = 0,375.$$

За величиною ζ'_2 використовуючи графік $\mu=f(\zeta)$ (рис. 5,1), знаходимо величину.

$$\mu'_2 = 0,9$$

Підставимо знайдені значення в (21) та отримаємо:

$$f'_{e_{T_2}} = 0,9 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,010}{4} = 101,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Щоб знайти $f'_{ев}$ скористаємось формулою (23).

$$\frac{1}{f'^2_{ев}} = \frac{1}{f^2_{евT_2}} + \frac{1}{f^2_{евP}} = \frac{1}{(101,7 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(11 \cdot 10^{-6})^2} = 0,053 \cdot 10^{10} \text{ м}^2, \quad (23)$$

$$f'_{ев} = \frac{1}{\sqrt{0,094 \cdot 10^{10}}} = 41,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Знайдені значення підставимо в (21):

$$k_{вб} = \frac{39,176 \cdot 10^{-6}}{41,8 \cdot 10^{-6}} = 0,92.$$

Далі підставимо $k_{вб}$ у формулу (20) і знайдемо V_{PTB} :

$$V_{PTB} = 0,92 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} \cdot 0,6 = 61,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Визначення часу підготовчого періоду

Час t_n підготовчого періоду знаходиться по формулі:

$$t_n = t_1 + t_2 + t_3, \quad (24)$$

де t_1 – час переключення розподільника (приводиться в технічній характеристиці) $t_1=0,063\text{с}$;

t_2 – час розповсюдження тиску в трубопроводах, що пов'язує порожнини пневмоциліндра і розподільника, визначається згідно формули:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$t_2 = \frac{l_{T2}}{a}, \quad (25)$$

де l_{T2} - довжина трубопроводу,

a – швидкість звуку в повітрі, що визначається як функція абсолютної температури повітря $a \approx 20\sqrt{T}$, котру можна прийняти рівною середній температурі навколишнього середовища $T = 290 \dots 293^\circ\text{K}$.

t_3 – час зміни тисків у порожнинах пневмоциліндра на момент початку руху поршня з місця.

Підставимо значення в (25) і отримаємо:

$$t_2 = \frac{l_{T2}}{a} = \frac{l_{T2}}{20 \cdot \sqrt{T}} = \frac{0,}{20 \cdot \sqrt{291}} = 0,0024 \text{ с.}$$

Для визначення складової t_3 часу підготовчого періоду необхідно розрахувати час двох процесів: наповнення робочої порожнини від атмосферного тиску до тиску руху, при якому поршень починає рухатись з місця, і спорожнення порожнини вихлопу від магістрального тиску до тиску руху в порожнині вихлопу. Якщо знайдені періоди не рівні, тоді за час t_3 приймається більший з них.

Час наповнення робочої порожнини визначається із виразу:

$$t_{\text{нап}} = 3.62 \cdot 10^{-3} \frac{V_{p \min}}{f_e} [\psi_1(\sigma_p) - \psi_1(\sigma_a)], \quad (26)$$

де $V_{p \min}$ – мінімальний розрахунковий об'єм робочої порожнини;

$$V_{p \min} = V_o + V_{pT} = 4,02 \cdot 10^{-6} + 67,6 \cdot 10^{-6} = 71,62 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

f_e – ефективна площа прохідного перерізу лінії підводу, $f_e = 14,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		52

$\sigma = p / p_m$ – безрозмірний тиск в робочій порожнині пневмоциліндру, що є відношення поточного тиску в цій порожнині до тиску, що підводиться від живлення;

$\sigma_a = p_a / p_m$ - безрозмірний тиск, що відповідає початку наповнення;

$$\sigma_a = 0.1 / 0.5 = 0.2$$

$\Psi_1(\sigma_a)$, $\Psi_1(\sigma_p)$ – функції тиску, що визначаються згідно графіку на рис 2.10

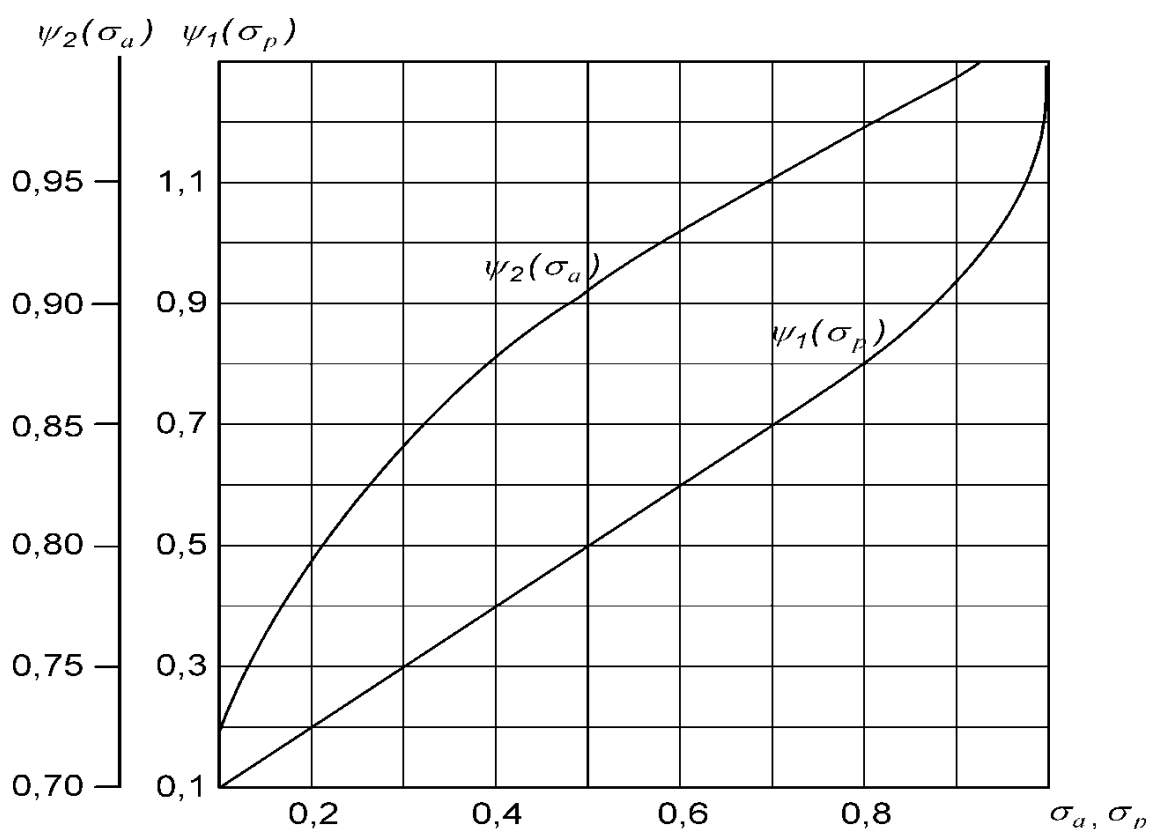


Рис. 2.10 Залежність $\Psi_2(\sigma_a)$ від σ_a та $\Psi_1(\sigma_p)$ від σ_p .

Час спорожнення порожнини вихлопу від початкового в ній тиску $p_{\text{впоч}} = p_m$ до тиску руху $p_{\text{вр}}$ в момент початку руху поршня з місця визначається згідно залежності:

$$t_{on} = 2.53 \cdot 10^{-2} \frac{V_{pe}}{f_{ee} \cdot \sigma_a^{\frac{2k}{k-1}}} [\psi_2(\sigma_{ep}) - \psi_2(\sigma_a)]. \quad (27)$$

$T_{UT} V_{pe} = V_{pe \min} + F_e \cdot s$ – розрахунковий об'єм порожнини вихлопу,

$$V_{pe} = (V_o + V_{pe}) + \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot s = (4,02 \cdot 10^{-6} + 61,21 \cdot 10^{-6}) + \frac{3,14 \cdot (0,1^2 - 0,032^2)}{4} \cdot 0,08 = 2,787 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$\sigma_1 = p_a / p_e$ – безрозмірний тиск в порожнині вихлопу, що є відношенням атмосферного тиску p_a до поточного значення тиску у цій порожнині,

$\sigma_a = \sigma_{ea} = p_a / p_m$ – безрозмірний тиск в порожнині вихлопу на початку спорожнення,

$$\sigma_a = \sigma_{ea} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{0,5 \cdot 10^6} = 0,2;$$

$\psi_2(\sigma_{ep}), \psi_2(\sigma_a)$ – функції тиску в порожнині тиску, що визначається згідно графіка на рис. 5.1

k – показник адіабати, $k=1,4$.

Необхідні для розрахунку тиски руху визначаються з рівняння рівноваги сил, діючих на поршень на початку руху:

$$p_e \cdot F - p_{ep} \cdot F_e - P = 0. \quad (28)$$

В рівняння входить сила опору руху

$$P = P_1 + P_2 \pm mg + p_a(F - F_6), \quad (29)$$

яка включає в себе силу тертя P_1 , корисне навантаження P_2 , масову силу mg , що не враховується при горизонтальному розташуванні циліндра, а також поправку $p_a(F - F_6)$.

Значення P_1 знайдемо із формули:

$$P_1 = k_T \cdot (m_1 + m_2) \cdot g, \quad (30)$$

де k_T – коефіцієнт тертя, $k_T=0,17$;

m_1 – маса рухомих частин привода (крім вантажу, що переміщається),
 $m_1=4\text{кг}$;

m_2 – маса вантажу, що переміщається, $m_2=0$.

Підставимо значення в (30), отримаємо:

$$P_1 = 0,17 \cdot (4 + 0) \cdot 9,81 = 7\text{Н}.$$

Знайдемо P , підставивши всі значення в (28):

$$P = 7 + 1 \cdot 10^3 + 39 + 0,1 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} - \frac{3,14 \cdot (0,1^2 - 0,032^2)}{4} \right) = 186\text{Н}.$$

Так як в рівнянні (28) два невідомих то воно має множину рішень, з яких тільки одне вірне. Для його знаходження використовується метод підбору.

Присвоюємо значенню $p_p=p_m=0,6\text{МПа}$ і згідно рівняння (28) знаходиться відповідне значення $p_{вр}$:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_{ep} = \frac{p_p \cdot F - P}{F_6};$$

$$p_{ep} = \frac{0,7 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} - 186}{\frac{3,14(0,1^2 - 0,032^2)}{4}} = 0,84 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,84 \text{ МПа}.$$

Найдемо

$$\sigma_p = \frac{p_p}{p_m} = \frac{0,5 \cdot 10^6}{0,5 \cdot 10^6} = 1.$$

Знаходимо значення функцій по графіку на рис. 2.10

$$\psi_1(\sigma_p = 1) = 1,27, \psi_1(\sigma_a = 0,2) = 0,47$$

Визначаємо по формулі (26) $t_{нап}$:

$$t_{нап} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{71,62 \cdot 10^{-6}}{14,8 \cdot 10^{-6}} [1,27 - 0,47] = 0,002 \text{ с}.$$

Знаходимо значення функцій по графіку на рис. 2.10

$$\psi_2(\sigma_{ep} = 0,13) = 0,72,$$

Визначаємо по формулі (27) $t_{оп}$:

$$t_{оп} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{2,787 \cdot 10^{-3}}{39,176 \cdot 10^{-6} \cdot 0,167^{2,1,4}} [0,72 - 0,47] = 0,56 \text{ с}.$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Оскільки $t_{\text{нап}} \leq t_{\text{оп}}$, то підбір правильний.

Приймаю більше значення t_3

Підставимо значення в (24) і знайдемо час t_n підготовчого періоду:

$$t_n = t_1 + t_2 + t_3 = 0,063 + 0,0024 + 0,56 = 0,6254 \text{ с.}$$

Визначення часу руху

Рух поршня пневмоциліндру двосторонньої дії описується системою диференціальних рівнянь, в яку входять рівняння руху поршня як твердого тіла і два рівняння енергетичного балансу, що характеризують зміну тисків в кожній з порожнин пневмоциліндру:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} &= \frac{1}{m} (pF - p_{\text{с}} F_{\text{с}} - P); \\ \frac{dp}{dt} &= \frac{k}{x + x_0} \left[\frac{f_{\text{с}} \cdot K \cdot \rho_{\text{м}} \sqrt{RT_{\text{м}}} \cdot \varphi(\sigma)}{F} - p \cdot \frac{dx}{dt} \right]; \\ \frac{dp_{\text{с}}}{dt} &= \frac{k}{s + x_{0\text{с}} - x} \left[p_{\text{с}} \cdot \frac{dx}{dt} - \frac{f_{\text{сс}} \cdot K \cdot p_{\text{с}}^{\frac{3k-1}{2k}} \sqrt{RT_{\text{м}}} \cdot \varphi(\sigma_{\text{с}})}{F_{\text{с}} \cdot p_{\text{м}}^{\frac{k-1}{2k}}} \right]. \end{aligned} \quad (31)$$

Тут $k = 1.4$ – показник адіабати, $K = \sqrt{\frac{2k}{k-1}}$ – коефіцієнт, R – газова постійна (для сухого повітря $R = 287 \text{ Дж/кг град}$), $T_{\text{м}}$ – абсолютна температура повітря, що підводиться з магістралі,

$\varphi(\sigma), \varphi(\sigma_{\text{с}})$ – функція витрати, що визначається згідно до формули;

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$\varphi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}. \quad (32)$$

У загальному вигляді система рівнянь (31) рішення не має. Вона може бути вирішена тільки шляхом числового інтегрування.

Початковими параметрами при інтегруванні є:

$$x_n = 0; \left(\frac{dx}{dt} \right)_n = \dot{x}_n = 0;$$

$$\left(\frac{d^2x}{dt^2} \right)_n = \ddot{x}_n = 0; p_n = p_p; \sigma_n = \frac{p_p}{p_\lambda} = \sigma_p; p_{en} = p_{ep}; \sigma_{en} = \frac{p_a}{p_{ep}} = \sigma_{ep}.$$

Інтегрування ведеться до тих пір, поки не буде знайдено значення кінцевої координати поршня $x_{kin} \geq s$.

Система рівнянь (31) після переходу від дійсних величин до безрозмірних приймає вигляд:

$$\ddot{\xi} = \frac{1}{N^2} \left(\sigma - \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot \sigma_\epsilon} - \chi \right);$$

$$\frac{d\sigma}{d\tau} = \frac{k}{\xi_0 + \xi} [\varphi(\sigma) - \sigma \cdot \ddot{\xi}]; \quad (33)$$

$$\frac{d\sigma_\epsilon}{d\tau} = \frac{k}{\xi_{0\epsilon} + 1 - \xi} \left[\alpha \cdot \omega \cdot \sigma_a^{\frac{k-1}{2k}} \cdot \sigma_\epsilon^{\frac{k+1}{2k}} \cdot \varphi(\sigma_\epsilon) - \sigma_\epsilon \cdot \ddot{\xi} \right].$$

Тут $\ddot{\xi}$ – прискорення поршня;

N – конструктивний (узагальнюючий) параметр,

$$N = 352 \frac{f_e}{D^3} \sqrt{\frac{mg}{p_m \cdot s}} = 352 \cdot \frac{14,8 \cdot 10^{-6}}{0,1^3} \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81}{0,7 \cdot 10^6 \cdot 0,08}} = 0,34.$$

Тиск в робочій порожнині

$$\sigma = \frac{p}{p_m};$$

Відношення площ поршня в порожнинах циліндра

$$\alpha = \frac{F}{F_e};$$

$$\alpha = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{3,14 \cdot (0,1^2 - 0,032^2)} = 1,19;$$

Тиск в порожнині вихлопу

$$\sigma = \frac{p_a}{p_e};$$

Безрозмірне навантаження

$$\chi = \frac{P}{p_m \cdot F} = \frac{1 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4}} = 0,645;$$

Початкові параметри при числовому інтегруванні:

$$\xi_n = 0; \xi_n = 0; \xi_n = 0; \sigma_n = \sigma_p; \sigma_{en} = \sigma_{ep};$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		59

Тоді рівняння динаміки прямого ходу привода буде мати такий вигляд:

$$\sigma_p - \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot \sigma_{ep}} - \chi = 0. \quad (34)$$

В (33) приймемо $\sigma_p = 1$, тоді:

$$\sigma_{ep} = \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot (1 - \chi)} = \frac{0,2}{1,08 \cdot (1 - 0,645)} = 0,4.$$

Сума інтегралів безрозмірного часу на всіх кроках числового інтегрування в межах зміни ξ від 0 до 1 дає безрозмірний час руху поршня τ_s , який ц

Вибір розмірів трубопроводів

Задача розрахунку - визначення діаметрів трубопроводів і втрат тиску, що виникають у них при переміщенні робочої рідини.

Розрахунок варто робити по ділянках, що мають однакову витрату. Ділянка являє собою трубопровід з установленими на ньому місцевими опорами (трійники, штуцера, коліна і т.і.) і гідроапаратами.

$$d_m = \sqrt{\frac{4Q_T}{\pi \cdot V_{cp}}},$$

де Q_T - витрата рідини на ділянці що розраховується, V_{cp} - середня швидкість рідини.

Середню швидкість рідини вибирають у залежності від призначення трубопроводу:

для всмоктувальних $V=0,5 \dots 1,5$ м/ с;

для зливальних $V= 1,4 \dots 2,2$ м/ с; для

напірних $V= 3 \dots 6$ м/ с

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		60

Визначаємо діаметри трубопроводів:

- внутрішній діаметр всмоктувальної ділянки:

$$d_{T_{вс}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.00026 \text{ м}^3 / \text{с}}{3,14 \cdot 1}} = 18 \text{ мм}$$

Згідно ДЕРЖСТАНДАРТУ 8732-78 приймаємо: $d_{T_{вс}} = 20 \text{ мм}$.

- внутрішній діаметр напірної ділянки:

$$d_{T_{н}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.00026}{3,14 \cdot 3}} = 0.01 \text{ м} = 10 \text{ мм}$$

Згідно ДЕРЖСТАНДАРТУ 8732-78 приймаємо: $d_{T_{нап}} = 10 \text{ мм}$.

- внутрішній діаметр зливної ділянки:

$$d_{T_{зл}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.00026}{3,14 \cdot 1.5}} = 14,8 \text{ мм} = 16 \text{ мм}$$

Згідно ДЕРЖСТАНДАРТУ 8732-78 приймаємо: $d_{T_{зл}} = 16 \text{ мм}$.

За прийнятим діаметром визначаємо дійсну швидкість руху рідини в трубопроводі:

- на всмоктувальній ділянці:

$$V_{вс} = 4 \frac{Q_T}{3,14 \cdot d_T^2} = \frac{4 \cdot 0.00026}{3,14 \cdot 0.02^2} = 0.9 \text{ м}^3 / \text{с}$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		61

- на напірній ділянці:

$$V_{ec} = 4 \frac{Q_T}{3,14 \cdot d_T^2} = \frac{4 \cdot 0.00026}{3,14 \cdot 0.01^2} = 3,3 \text{ м}^3 / \text{с}$$

- на зливній ділянці:

$$V_{ec} = 4 \frac{Q_T}{3,14 \cdot d_T^2} = \frac{4 \cdot 0.00026}{3,14 \cdot 0.016^2} = 1,2 \text{ м}^3 / \text{с}$$

2.7 Визначення втрат тиску на гідравлічне тертя

Гідравлічні втрати в гідролініях складаються із втрат на гідравлічне тертя

Δp_T , втрат у місцевих опорах Δp_M і втрат у гідроапаратах Δp_d .

Втрати тиску на тертя

$$\Delta p_T = \frac{(0,5 \lambda l \rho V^2)}{d_T},$$

де λ - коефіцієнт тертя; l - довжина ділянки; ρ - щільність; V - середня швидкість рідини, d_T - діаметр труби або шланга.

Коефіцієнт тертя λ залежить від режиму плину рідини й визначається по числу Рейнольдса:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu},$$

де ν - кінематична в'язкість рідини.

При ламінарному русі рідини ($Re < 2320$).

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи можливість звуження і викривлення перерізу труби при практичних розрахунках приймають:

$$\lambda = 75 / \text{Re}.$$

При турбулентному русі ($\text{Re} \geq 2320$) коефіцієнт тертя λ залежить від числа Рейнольдса, й від відносної шорсткості стінок каналу. Сталеві труби мають шорсткість $\Delta = 0,03\text{мм}$, труби з кольорових металів вважаються практично гладкими.

- всмоктувальна лінія ($l=0,15\text{м}$)

число Рейнольдса: $\text{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{0,9\text{ м/с} \cdot 0,026\text{ м}}{0,0000465\text{ м}^2/\text{с}} = 387$ 2320-ламінальний режим

коефіцієнт Дарсі: $\lambda = 75 / 387 = 0,2;$

втрати на гідравлічне тертя:

$$\Delta p_T = \frac{(0,5 \lambda l \rho V^2)}{d_T} = \frac{(0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,15 \cdot 890 \cdot 0,9^2)}{0,02} = 5\text{ кПа}$$

- напірна лінія ($l=3,5\text{м}$)

число Рейнольда:

$\text{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{3,3\text{ м/с} \cdot 0,010\text{ м}}{0,0000465\text{ м}^2/\text{с}} = 710$ 2320-ламінальний режим

коефіцієнт Дарсі: $\lambda = 75 / 710 = 0,1;$

втрати на гідравлічне тертя:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$\Delta p_r = \frac{(0,5 \lambda l \rho V^2)}{d_r} = \frac{(0,5 \cdot 0,1 \cdot 3,5 \cdot 890 \cdot 3,3^2)}{0,01} = 170 \text{ кПа}$$

- зливна лінія (l=3м)

число Рейнольда:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{1,2 \text{ м/с} \cdot 0,016 \text{ м}}{0,0000465 \text{ м}^2/\text{с}} = 412$$

2320-ламінальний режим

коефіцієнт Дарсі: $\lambda = 75 / 412 = 0,18$;

λ

втрати на гідравлічне тертя:

$$\Delta p_r = \frac{(0,5 \lambda l \rho V^2)}{d_r} = \frac{(0,5 \cdot 0,18 \cdot 3 \cdot 890 \cdot 1,2^2)}{0,016} = 22 \text{ кПа}$$

Сумарні втрати на гідравлічне тертя: = 0,197 МПа

Результати розрахунків заносим у таблицю 4.2

2.8 Розрахунок втрат на тертя

Таблиця 4.1

Ділянка	Довжина ділянки l_T , м	d_T , мм	Q , л/хв	v , м/с	Re	λ	Δp_T , МПа
Всмоктування	0,15	20	16	0,9	387	0,2	0,005
Нагнітання	3,5	10	16	3	710	0,1	0,170
Злив	3	16	16	1,2	413	0,18	0,022

2.9 Визначення втрат у місцевих опорах

При $Re > 10^5$ коефіцієнт тертя практично не залежить від Re і можна прийняти $\lambda = 0,02$. Втрати на місцевих опорах визначимо по формулі:

$$\Delta p_M = 0,5 \rho \xi V^2;$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору.

- напірна лінія

$$\Delta p_{M, \text{нагн.}} = 0,5 \rho \xi v^2 =$$

$$0,5 \cdot 890 \cdot 3^2 (0,5 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 0,8 + 0,8 + 0,8 + 0,8 + 3) = 0,11 \text{ МПа}$$

- зливна лінія

$$\Delta p_{M, \text{зл.}} = 0,5 \rho \xi v^2 = 0,5 \cdot 890 \cdot 1,2^2 (2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2) = 0,04 \text{ МПа}$$

Результати розрахунків заносим у таблицю 4.3

Розрахунок втрат на місцевих опорах

Таблиця 2. _____

Номер опору	Вид опору	Кількість	ζ
	Трійник	12	2
	Раптове розширення (вхід у гідроапарат)	10	0,8
	Раптове звуження (вихід із гідроциліндра)	10	0,5
	Дросель	2	2
	Редукційний клапан	1	2
	Коліно	4	0,1

2.10 Визначення втрат у гідроапаратах

Втрати в гідравлічних апаратах, установлених на ділянці що розраховується, наведені в довідниках і каталогах на гідроапаратуру й вибираються для максимальної витрати через гідроапарат. Якщо для конкретного випадку витрата менше максимального, то табличні значення втрат необхідно перерахувати по формулі:

$$\Delta p_{\partial} = \Delta p_{ГА} \left(\frac{Q_{\partial}}{Q_H} \right)^2 ,$$

де $\Delta p_{ГА}$ - втрати тиску на гідроапараті при відповідній дійсності значення витрати Q_{∂} ; Δp_M - втрати тиску, взяті по каталозі при максимальному значенні витрати Q_H .

Такт І.1, І.3 :

- Фільтр FMM1502SAD2M25 MPfiltri. Ф1: $\Delta p_r=0,06$ МПа;
- Клапан зворотній VUR1/2 Paskal K32, K33: $\Delta p_r=0,5$ МПа;
- Розподільник DH-050/2 ATOS P9: $\Delta p_r=0,2$ МПа;
- Розподільник DK-1432/2 ATOS P5: $\Delta p_r=0,2$ МПа;
- Фільтр OMTF112C25NA2 OMT Ф2: $\Delta p_r=0,1$ МПа;

$$\Delta p_{\partial} = 1,06 \text{ Мпа}$$

Такт І.2, І.4:

- Фільтр FMM1502SAD2M25 MPfiltri. Ф1: $\Delta p_r=0,06$ МПа;
- Клапан зворотній VUR1/2 Paskal K31, K31: $\Delta p_r=0,5$ МПа;

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		66

- Розподільник DH-050/2 ATOS P9: $\Delta p_r=0,2\text{МПа}$;
- Розподільник DK-1432/2 ATOS P5: $\Delta p_r=0,2\text{МПа}$;
- Дросель STBF1/2 Paskal Др1: $\Delta p_r=0,4\text{МПа}$;
- Фільтр OMTF112C25NA2 OMT Ф2: $\Delta p_r=0,1\text{МПа}$;

$$\Delta p_{\delta} = 1,3 \text{ МПа}$$

Такт II.1, II.3:

- Фільтр FMM1502SAD2M25 MPfiltri. Ф1: $\Delta p_r=0,06\text{МПа}$;
- Клапан зворотній VUR1/2 Paskal K33,K32: $\Delta p_r=0,5\text{МПа}$;
- Розподільник DH-050/2 ATOS P9: $\Delta p_r=0,2\text{МПа}$;
- Розподільник DK-1432/2 ATOS P6: $\Delta p_r=0,2\text{МПа}$;
- Фільтр OMTF112C25NA2 OMT Ф2: $\Delta p_r=0,1\text{МПа}$;

$$\Delta p_{\delta} = 1,06 \text{ МПа}$$

Такт II.2:

- Фільтр FMM1502SAD2M25 MPfiltri. Ф1: $\Delta p_r=0,06\text{МПа}$;
- Клапан зворотній VUR1/2 Paskal K33,K32: $\Delta p_r=0,5\text{МПа}$;
- Розподільник DH-050/2 ATOS P9: $\Delta p_r=0,2\text{МПа}$;
- Розподільник DK-1432/2 ATOS P6, P7: $\Delta p_r=0,2\text{МПа}$;
- Дросель STBF1/2 Paskal Др1: $\Delta p_r=0,4\text{МПа}$;
- Фільтр OMTF112C25NA2 OMT Ф2: $\Delta p_r=0,1\text{МПа}$;

$$\Delta p_{\delta} = 1,5 \text{ МПа}$$

Такт II.4:

- Фільтр FMM1502SAD2M25 MPfiltri. Ф1: $\Delta p_r=0,06\text{МПа}$;
- Клапан зворотній VUR1/2 Paskal K33,K32: $\Delta p_r=0,5\text{МПа}$;

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		67

- Розподільник DH-050/2 ATOS P9: $\Delta p_r=0,2\text{МПа}$;
- Розподільник DK-1432/2 ATOS P6, P7: $\Delta p_r=0,2\text{МПа}$;
- Регулятор потоку FE10/X001 Brevini РП: $\Delta p_r=0,4\text{МПа}$;
- Фільтр OMTF112C25NA2 OMT $\Phi 2$: $\Delta p_r=0,1\text{МПа}$;

$$\Delta p_{\delta} = 1,5 \text{ МПа}$$

Такт III :

- Фільтр FMM1502SAD2M25 MPfiltri. $\Phi 1$: $\Delta p_r=0,06\text{МПа}$;
- Клапан зворотній VUR1/2 Paskal K33: $\Delta p_r=0,5\text{МПа}$;
- Розподільник DH-050/2 ATOS P10: $\Delta p_r=0,2\text{МПа}$;
- Редукційний клапан VPR3/8 Oleodinamica Marchesini КР: $\Delta p_r=0,06\text{МПа}$;
- Фільтр OMTF112C25NA2 OMT $\Phi 2$: $\Delta p_r=0,1\text{МПа}$;

$$\Delta p_{\delta} = 0,92 \text{ МПа}$$

Такт IV:

- Фільтр FMM1502SAD2M25 MPfiltri. $\Phi 1$: $\Delta p_r=0,06\text{МПа}$;
- Клапан зворотній VUR1/2 Paskal K33: $\Delta p_r=0,5\text{МПа}$;
- Розподільник DH-050/2 ATOS P10: $\Delta p_r=0,2\text{МПа}$;
- Редукційний клапан VPR3/8 Oleodinamica Marchesini КР: $\Delta p_r=0,06\text{МПа}$;
- Фільтр OMTF112C25NA2 OMT $\Phi 2$: $\Delta p_r=0,1\text{МПа}$;

$$\Delta p_{\delta} = 0,92 \text{ МПа}$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		68

При послідовному з'єднанні загальні втрати тиску являють собою суму втрат тиску на всіх ділянках:

$$\Delta p_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_1} \Delta p_{Ti} + \sum_{i=1}^{n_2} \Delta p_{Mi} + \sum_{i=1}^{n_3} \Delta p_{\partial i} .$$

У суму втрат по гідроапаратам враховуємо той такт коли втрати тиску будуть найбільшими.

$$\sum \Delta p = \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_T + \sum \Delta p_{ГА} = 2.2 \text{ МПа}$$

Необхідний тиск насоса:

$$p_n = p + \sum \Delta p = 5 + 1,85 = 6,85 \text{ МПа}$$

$$p_{н. \max} = 25 \text{ МПа} \geq p_n$$

Даний вираз свідчить, що раніше підібраний насос вибраний правильно.

2.11 Тепловий розрахунок

При роботі гідроприводу внаслідок механічних, гідравлічних і об'ємних втрат відбувається виділення теплової енергії, щойде на нагрівання гідробака з маслом, а також розсіюється в навколишній простір.

Кількість теплоти Q , що виділяється в гідроприводі за 1 год. роботи, визначимо як алгебраїчну суму кількості теплоти Q_i для кожного такту:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$\theta = \sum_{i=1}^n \theta_i .$$

З урахуванням записаного виразу кількість теплоти θ_i дорівнює:

Задаюся тиском насоса 7 МПа

ГЦ1:

$$\Theta_{инт} = 60 \left(\frac{7 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot 0,016 \text{ м}^3 / \text{хв}}{0,9} - 0,8 \cdot 10^6 \cdot 0,03 \cdot 0,9 \right) \frac{1,4}{87} = 90 \text{ кДж} / \text{год}$$

$$\Theta_{1рн} = 60 \left(\frac{7 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot 0,016 \text{ м}^3 / \text{хв}}{0,9} - 5 \cdot 10^6 \cdot 0,0027 \cdot 0,9 \right) \frac{17,3}{87} = 1200 \text{ кДж} / \text{год}$$

$$\Theta_{инт} = 60 \left(\frac{7 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot 0,016 \text{ м}^3 / \text{хв}}{0,9} - 0,8 \cdot 10^6 \cdot 0,03 \cdot 0,9 \right) \frac{1,4}{87} = 90 \text{ кДж} / \text{год}$$

$$\Theta_{1рн} = 60 \left(\frac{7 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot 0,016 \text{ м}^3 / \text{хв}}{0,9} - 5 \cdot 10^6 \cdot 0,0027 \cdot 0,9 \right) \frac{17,3}{87} = 1200 \text{ кДж} / \text{год}$$

$$\Theta_{инт} = 60 \left(\frac{7 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot 0,016 \text{ м}^3 / \text{хв}}{0,9} - 0,45 \cdot 10^6 \cdot 0,04 \cdot 0,9 \right) \frac{1,4}{87} = 96 \text{ кДж} / \text{год}$$

$$\Theta_{1рн} = 60 \left(\frac{7 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot 0,016 \text{ м}^3 / \text{хв}}{0,9} - 3 \cdot 10^6 \cdot 0,0035 \cdot 0,9 \right) \frac{17,3}{87} = 256 \text{ кДж} / \text{год}$$

$$\Theta_{инт} = 60 \left(\frac{7 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot 0,016 \text{ м}^3 / \text{хв}}{0,9} - 0,45 \cdot 10^6 \cdot 0,04 \cdot 0,9 \right) \frac{1,4}{87} = 96 \text{ кДж} / \text{год}$$

$$\Theta_{2рн} = 60 \left(\frac{7 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot 0,016 \text{ м}^3 / \text{хв}}{0,9} - 3 \cdot 10^6 \cdot 0,0039 \cdot 0,9 \right) \frac{15,6}{87} = 1130 \text{ кДж} / \text{год}$$

ГЦ2:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Theta_2 = 60 \left(\frac{7 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot 0,016 \text{ м}^3 / \text{хв}}{0,9} - 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,0006 \cdot 0,9 \right) \frac{7}{87} = 320 \text{ Дж} / \text{год}$$

$$\Theta_2 = 60 \left(\frac{7 \cdot 10^6 \text{ МПа} \cdot 0,016 \text{ м}^3 / \text{хв}}{0,9} - 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,0006 \cdot 0,9 \right) \frac{7}{87} = 320 \text{ Дж} / \text{год}$$

$$\sum \Theta = 4166 \text{ кДж} / \text{год}$$

Об'єм робочої рідини визначається із залежності:

$$V_{\text{мастила}} = (2 \dots 3) Q_{\text{н.хв.}} = 48 \text{ л}$$

Повний геометричний об'єм гідробаку V_6 – визначають з умови його заповнення на 0,8 висоти до найближчого значення V_6 згідно з ДЕРЖСТАНДАРТОМ 16770/71.

$$V_6 = 63 \text{ л.}$$

Розрахункова площа гідробаку:

$$F = 0.064 \sqrt[3]{63^2 \text{ м}^3} = 1,01 \text{ м}^2$$

Перевищення сталої температури масла в баку над температурою навколишнього середовища:

$$\Delta t = \frac{\sum \Theta}{(kF)} = 66^\circ \text{C}$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

де $k = 63 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$ - коефіцієнт теплопередачі від масла до повітря.

Максимальна температура робочої рідини:

$$t_{\max} = t_{\text{нов}} + \Delta t = 25^\circ + 66^\circ = 91^\circ$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\max} - 70^\circ = 21^\circ$$

Кількість тепла, що необхідно відвести через теплообмінник за годину:

$$\Delta \Theta = \frac{4166 \text{кДж} / \text{год}}{21} = \frac{991 \text{ккал} / \text{год}}{21} = 47 \frac{\text{ккал}}{\text{год} \cdot \text{град}}$$

Обираю теплообмінник OMT SS2150100AP Q=5...40 л/хв, N=0.055кВт ,
n=2500 об/хв.

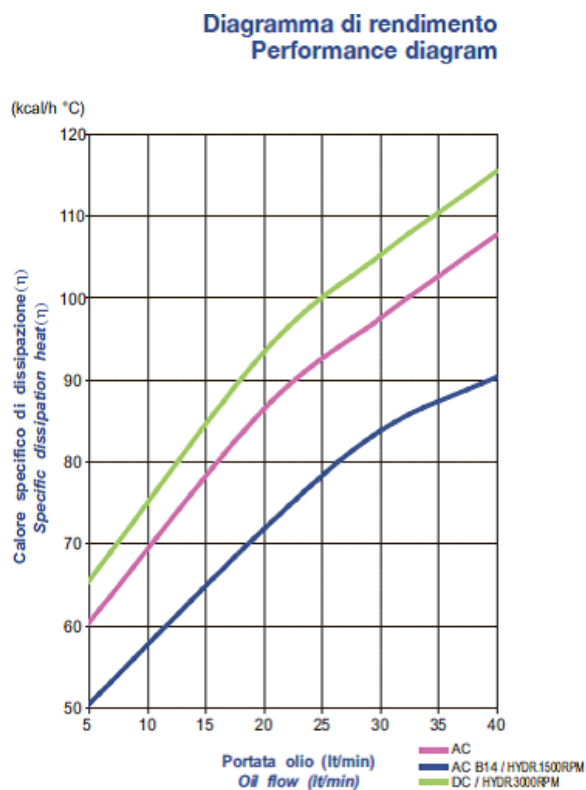


Рис. 2.11 Характеристики теплообмінника

2.12 Розрахунок гідроциліндра на міцність

2.13 Розрахунок товщини стінки:

За III торією міцності товщина гільзи:

$$S = \frac{D}{2} \left(\sqrt{\frac{\sigma_{дон}}{\sigma_{дон} - 1,73p}} - 1 \right) = 8 \text{ мм}$$

Для сталі 40 X $\sigma_{дон} = 200 \text{ МПа}$, p – робочий тиск, D – внутрішній діаметр циліндра

Обираю $S = 10 \text{ мм}$.

Товщина днища циліндра гідроциліндра (не менше:

$$S_{дон, III} = D \left(\sqrt{\frac{\sigma_{дон}}{\sigma_{дон} - 1,5p}} - 1 \right) = 11,5 \text{ мм}$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		73

РОЗДІЛ. 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Небезпечний виробничий чинник – чинник, дія якого може призвести до травм або іншого раптового погіршення стану здоров'я робітника.

У відповідності по ГОСТ 12.003-74 небезпечні і шкідливі чинники за природою дії діляться на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні.

В цьому розділі дипломного проекту «Охорона праці» буде розглянуто питання, які торкаються безпеки при модернізації багатопозиційного пневмогідравлічного приводу з дозуючими пристроями:

1. Характеристики приміщення, де проходить керування позиційним приводом;
2. Аналіз мікрокліматичних умов;
3. Освітлення навчальної аудиторії;
4. Пожежна безпека;
5. Електробезпека.

3.1. Характеристики переміщення

Навчальна аудиторія, де проходять випробування розрядних камер, має наступні параметри:

1. Висота $h = 4\text{м}$;
2. Довжина $l = 4\text{м}$;
3. Ширина $b = 5\text{м}$..

Таким чином, визначимо площу и об'єм навчальної аудиторії:

$$S = b \cdot l = 5 \cdot 4 = 20\text{м}^2 ;$$

$$V = b \cdot l \cdot h = 5 \cdot 4 \cdot 4 = 80\text{м}^3 .$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		74

У навчальній аудиторії для модернізації позиційного приводу працює одна людина.

Таким чином, порівнюємо фактичні дані відносно площі і об'єму, які доводяться на одного робітника, з нормативними (див. табл.4.1) [11].

Таблиця 3.1

Порівняння фактичних і нормативних даних відносно площі і об'єму приміщення на одного працівника [11]

Параметри	Нормативні	Фактичні
Площа,	Не менш ніж 6	20
Об'єм, m^3	Не менш ніж 71,5	80

Таким чином, параметри навчальної аудиторії, де проходить керування позиційного приводу, а саме розміри цього приміщення, які доводяться на одного працівника, відповідають нормативним параметрам площі і об'єму приміщення на одного працівника.

3.2. Аналіз мікрокліматичних умов

Нормативний документ, який визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ГОСТ 12.1.005-88 [12].

Оптимальна температура повітря підтримується взимку за рахунок центрального опалювання, а влітку – за допомогою кондиціонера OLMO OSH-10LD7W.

У цій навчальній аудиторії здійснюється робота, яка відноситься до категорії Пб, тобто робота, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням, переміщенням невеликих (до 10 кг) вантажів та супроводжуються помірним фізичним напруженням.

Далі порівнюємо фактичні параметри мікроклімату приміщення з нормативами, і ці дані зведемо в (табл 4.2.)

Таблиця 3.2

Оптимальні норми температур, відносній вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні навчальної аудиторії

Чинники мікроклімату	Нормативні		Фактичні	
	Холодний період року ($t < +10^{\circ}\text{C}$)	Теплий період року ($t \geq +10^{\circ}\text{C}$)	Холодний період року ($t < +10^{\circ}\text{C}$)	Теплий період року ($t \geq +10^{\circ}\text{C}$)
Температура, $^{\circ}\text{C}$	17 – 19	20 – 22	18	22
Вологість, %	60 – 40	60 – 40	60 – 40	60 – 40
Швидкість руху повітря, м/с	Не більше 0,2	Не більше 0,3	0,15	0,3

Таким чином, ми бачимо, що фактичні параметри мікроклімату даної навчальної аудиторії відповідають нормативним параметрам ГОСТ 12.1.005-88 [12].

3.3. Освітлення навчальної аудиторії

Розрахунок освітлення проводиться для кімнати площею 20 м^2 , ширина якої 5м, довжина 4 м. Скористаємося методом світлового потоку [13].

Визначимо світловий потік в приміщенні і порівняємо його з допустимим, за формулою:

$$E_{\text{еф}} = \frac{F_{\text{л}} N n \eta}{S \cdot k \cdot z}$$

де: $E_{\text{еф}}$ – розраховується світловий потік, Лк;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк (визначається за таблицею).
Роботу оператора, відповідно до цієї таблиці, можна віднести до розряду точних робіт, отже, мінімальна освітленість буде $E = 150 \text{ лк}$;

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку $S = 20 \text{ м}^2$);

z – відношення середньої освітленості до мінімальної (звичайно приймається рівним 1,1 ... 1,2, нехай $Z = 1,1$);

k_z – коефіцієнт запасу, враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників у процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення й характеру проведених у ньому робіт і в нашому випадку $K = 1,5$);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання (додаток 1), (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і обчислюється в частках одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, фарбування стін і стелі, які характеризуються коефіцієнтами відображення від стін ($\rho_{\text{с}}$) і стелі ($\rho_{\text{п}}$)),
Стеля приміщення свіжопобілена $\rho_{\text{сл}} = 70\%$, стіни мають світлосірий колір $\rho_{\text{сн}} = 50\%$, підлога з паркету $\rho_{\text{п}} = 30\%$.. Значення η визначимо з додатку 1 коефіцієнтів використання різних світильників. Для цього обчислимо індекс приміщення по формулі:

$$I = \frac{S \cdot 20}{h(A+B) \cdot 3.2 \cdot (5+4)} = 0.695,$$

де: S – площа приміщення, $S = 20 \text{ м}^2$;

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

h - розрахункова висота підвісу над робочою поверхню, h = 3.2 м;

A - ширина приміщення, A = 5 м;

B – довжина приміщення, B = 4 м.

Підставивши значення отримаємо:

Знаючи індекс приміщення I, за додатку знаходимо $\eta = 0,35$.

Для освітлення використовується три люмінесцентні лампи типу DeLux T8 36W/54 G13, світловий потік яких F = 2400 Лк.

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку $E_{\text{еф}}$:

$$E_{\text{еф}} = \frac{F_{\text{л}} N n \eta}{S \cdot k \cdot z} = \frac{2400 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 0,35}{20 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 152,7 \text{ лк.}$$

В процесі роботи з дозуючими камерами виконуються зорові роботи малої точності. Таким чином, мінімальна освітленість даної навчальної аудиторії складає 150лк.

3.4. Пожежна безпека

Виробництва по ступеню пожежної небезпеки відноситься до категорії Б - рідина, газ з температурою спалаху вище 28°C до 61°C.

Застосовуємо вогнегасники ВВК-2 (вогнегасник вуглекислотний ємністю 2 л). Вуглекислотний вогнегасник ВВК-2 являє собою сталевий балон ємністю 2 л, у горловину якого на конусному різьбленні увернутий вентиль з латуні із сифонною трубкою і запобіжним пристроєм. У корпусі вентиля з двох сторін маються штуцера, один із яких призначений для установки запобіжника, а інший для приєднання розтруба снігоутворювача. Так як на підприємстві відбувається перекачування легкозаймистих рідин, то велика вірогідність пожежі класу В [14]. Тому вибираємо вуглекислотні вогнегасники.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Громадські та адміністративно-побутові будинки на кожному поверсі повинні мати не менше двох переносних (порошкових, водопінних або водяних) вогнегасників з масою заряду вогнегасної речовини 5 кг і більше. Крім того, слід передбачати по одному газовому вогнегаснику з величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг і більше: на 20 м² площі підлоги в таких приміщеннях: офісні приміщення з ПК, комори, електрощитові, вентиляційні камери та інші технічні приміщення. Вогнегасники слід розміщувати у легкодоступних і помітних місцях, а також поблизу місць, де найбільш імовірна поява осередків пожежі.

3.5. Електробезпека

Електробезпека людей значною мірою залежить від вологості і температури повітря у приміщенні, ступеня електропровідності підлоги і стін, наявності в повітрі хімічних речовин й електропровідного пилу тощо.

Дане приміщення відноситься до категорії – приміщення без підвищеної небезпеки. Це сухі приміщення зі струмонепровідною підлогою, з вологістю не вище 75%, без пилу або лише зі струмонепровідним пилом температурою повітря до 30°C, в яких відсутня можливість одночасного дотику людини до корпусу електричної установки і металевих елементів, з'єднаних з землею;

При роботі даної, яка розташована у навчальній аудиторії, передбачено наступні заходи з електробезпеки:

- нормування опору ізоляції: обмотка компресору, маємо опір ізоляції не менше 0,5 МОм;
- дана насосна установка має можливість в автоматичному режимі керування, в якій відсутнє електричне керування.
- рубильники для відключення струму у випадку непередбачуваних обставин розташовані в доступному видному місці, підхід до них вільний.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		79

Приміщення відповідає усім нормам електробезпеки [15] та є придатним та безпечним для роботи.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1. Опис деталі

Поршень являє собою циліндр з діаметром 79,5мм і довжиною 60мм. На кресленні деталі є достатня кількість розмірів, видів та розрізів, що забезпечує повне розуміння конструктивних особливостей деталі.

Маса деталі 3кг.

4.2 Вибір виготовлення заготовки та розроблення її креслення

4.2.1 Вибір заготовки

Деталь "Поршень" є конструктивним елементом гідроциліндру. Аналіз конструктивних особливостей деталі, виконуваний за робочим кресленням, дозволяє зробити наступні висновки: габаритні розміри заготовки – Ø79.5×60мм, матеріал деталі – Сталь 45 ГОСТ 4543-71. До деталі пред'являються високі вимоги по забезпеченню точності та шорсткості робочих поверхонь.

4.2.2 Характеристики хімічних та фізико-механічних властивостей матеріалу деталі

Характеризуючи хімічні та фізико-хімічні властивості матеріалу, необхідно навести його склад, указати числові значення відповідних параметрів. Деталь "Кришка" виготовляється з Сталь 45 ГОСТ 1050-88. Хімічний склад, С %, Сталі 45 ГОСТ ГОСТ 1050-88: С –0.42-0.5%.

Фізико-механічні властивості сталі 45: тимчасовий опір при розтягуванні $\sigma_B = 690 \text{ МПа}$; густина $\gamma = 7.8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2.3 Визначення серійності виробництва та групи складності

Для правильного підбору технологічного процесу виготовлення заготовки необхідно визначити тип виробництва, тобто групу серійності. Попередньо визначаємо, що заготовку отримуємо з круглого прокату Ø85мм.

Для обґрунтування типу виробництва необхідно описати його за коефіцієнтом закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum_{i=1}^n OP_i}{\sum_{j=1}^m PM_j},$$

але враховуючи неможливість його використання без заводських даних використовуємо наближений табличний метод за масою та річним обсягом випуску і визначаємо тип виробництва якісно (ВСВ, ССВ). Після цього у відповідності за стандартом, який встановлює чисельне значення Кз.о для даного типу виробництва обираємо його конкретне значення.

У відповідності до таблиці, тип виробництва згідно з ГОСТ 3.1108-74:

Кз.о. =1 — масове виробництво;

1 < Кз.о. < 10 — великосерійне виробництво;

10 < Кз.о. < 20 — середньосерійне виробництво;

20 < Кз.о. < 40 — малосерійне виробництво;

Кз.о. ≥ 40 — одиничне виробництво.

Висновок: всі подальші технологічні рішення будемо розробляти для умов середньосерійного типу виробництва з Кз.о = 14.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Розробка технологічного процесу

4.3.1 Проектування технологічних послідовностей оброблення поверхонь деталі

Конструкцію деталі можна розділити на сукупність типових геометричних фігур, які об'єднані загальним службовим призначенням деталі. Типовими елементами конструкції є: циліндричні або конічні, зовнішні та внутрішні поверхні, сукупність площин, фасонні поверхні - гвинтові, евольвентні та інші.

Відповідно до цього, практикою машинобудівного виробництва накопичено виробничий досвід технологічних послідовностей економічного оброблення типових поверхонь для забезпечення заданої точності розмірів та параметрів шорсткості робочих поверхонь. Практично всі технологічні довідники приводять такі послідовності. Типові технологічні послідовності оброблення поверхонь є типовими рекомендаціями, які необхідно додатково аналізувати та уточнювати при технологічному проектуванні.

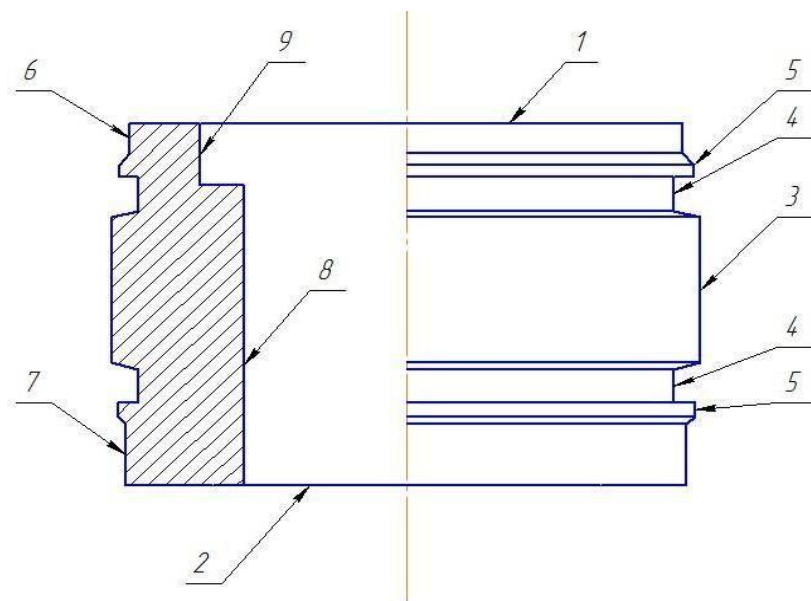


Рис 4.1 Послідовність обробки поверхонь

Таблиця 4.1

Поверхні	Послідовність обробки	IT _i	R _a
		Після обробки	
1	Зріз торця Фрезерування	14	3.2
2	Зріз торця Фрезерування	14	3.2
3	Точіння Точіння чистове	7	3.2
4	Точіння Точіння чистове	8	3.2
5	Точіння Точіння чистове	14	3.2
6	Точіння	14	3.2
7	Точіння	14	3.2
8	Свердління Точіння попереднє Точіння чистове	8	0.63
9	Свердління Точіння попереднє Точіння чистове	9	0.63

4.3.2 Рівень технологічності конструкції по точності обробки :

$$K_{y.mch} = \frac{K_{b.mch}}{K_{mch}},$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		84

де $K_{б.мч}, K_{мч}$ – відповідно базовий і отриманий коефіцієнти точності обробки.

$$K_{мч} = 1 - \frac{1}{T_{ср}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T_i n_i}, \text{де}$$

$T_{ср}$ – середній квалітет точності обробки виробу;

n_i – кількість розмірів однакового квалітету точності ;

T_i – квалітет точності обробки.

Кількісна характеристика квалітетів

Таблиця 4.2

Поверхня	Квалітет точності			
	7	8	9	14
Циліндрична	1	2	2	6

$$T_{ср} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i}.$$

Підставивши значення отримаємо :

$$T_{ср} = \frac{1 \cdot 7 + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 9 + 6 \cdot 14}{1 + 2 + 2 + 6} = \frac{125}{11} = 11.36.$$

Тоді:

$$K_{мч} = 1 - \frac{1}{11.36} = 0.91 > 0.8,$$

тобто за цим показником деталь технологічна.

4.3.3 Рівень технологічності конструкції по коефіцієнту шорсткості:

$$K_{y.u} = \frac{K_{\delta.u}}{K_u},$$

де $K_{\delta.u}, K_u$ – відповідно базовий і отриманий коефіцієнти шорсткості поверхонь.

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i n_i}{\sum n_i},$$

де $Ш_{cp}$ – середній параметр шорсткості обробки поверхонь виробу;

n_i – кількість розмірів однакової шорсткості ;

$Ш_i$ – шорсткість обробки поверхні.

$$K_u = \frac{1}{Ш_{cp}}.$$

Кількісна характеристика шорсткості

Таблиця 4.3.3

Поверхня	Параметр шорсткості Ra, мкм		
	0.63	2.5	3.2
Циліндрич на	1	3	7

Підставляючи значення в формулу отримаємо:

$$Ш_{cp} = \frac{1 \cdot 0.63 + 3 \cdot 2.5 + 7 \cdot 3.2}{0.63 + 2.5 + 3.2} = \frac{30.5}{6.33} = 4.82.$$

Тоді:

$$K_u = \frac{1}{4.82} = 0,2 < 0,32,$$

тобто за цим показником деталь також технологічна.

4.3.4 Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{з}}} = \frac{1.7}{2.2} = 0.78,$$

де $M_{\text{д}}$, $M_{\text{з}}$ – відповідно маса деталі та заготовки.

Тоді:

$$K_{\text{в.м}} = 0.78 < 0.8,$$

тобто за використанням матеріалу деталь також технологічна.

Висновок: приймаючи до уваги конструкцію деталі та виконані розрахунки, за якісними та кількісними показниками деталь є технологічною.

4.3.5. Проектування змісту технологічних операцій

На даному етапі проектування необхідно розробити маршрутний технологічний процес обробки заданої деталі. При розробці маршрутної технології для реалізації кожної технологічної операції встановлюють групу і модель верстата, необхідні пристосування та інструмент. Загальні правила вибору технологічного обладнання встановлені ГОСТ 14.404-73.

Загальні правила розробки маршрутного технологічного процесу:

- - в першу чергу оброблюються поверхні, які є технологічними базами для наступної обробки;
- - кожна наступна операція повинна покращувати якість обробленої поверхні;
- - чорнову і чистову обробку треба розглядати на різних операціях;
- - викінчувальні операції треба проводити в кінці технологічного процесу;

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- - отвори необхідно свердлити в кінці технологічного процесу, якщо вони не є базами для установки;
- - обробку поверхонь з точним взаємним положенням необхідно проводити в одній операції;
- - переходи треба розташувати так, щоб шлях менш стійких інструментів був мінімальним.

4.3.6. Проектування маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі "Поршень"

Один з раціональних варіантів маршрутного технологічного процесу приведений нижче.

010 Фрезерна на верстаті ЧПУ

Вид обладнання: верстат горизонтально фрезерний з ЧПУ 6904ВМФ2.

Система оснастки: оснастка універсальна.

Різальний інструмент: фреза торцева ВК6М.

А. Установити, закріпити, зняти.

015 Токарна з ЧПУ

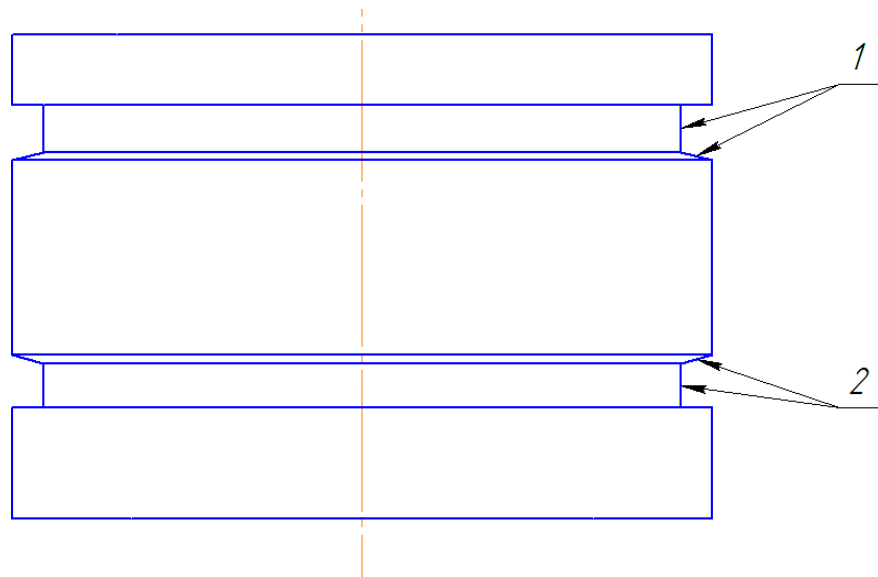
Вид обладнання: горизонтально розточний верстат з ЧПУ.

Система оснастки: оснастка універсальна.

Різальний інструмент: свердла спіральні Р6М6, різець карнабочний Т15К6, різець підрізний Т15К6.

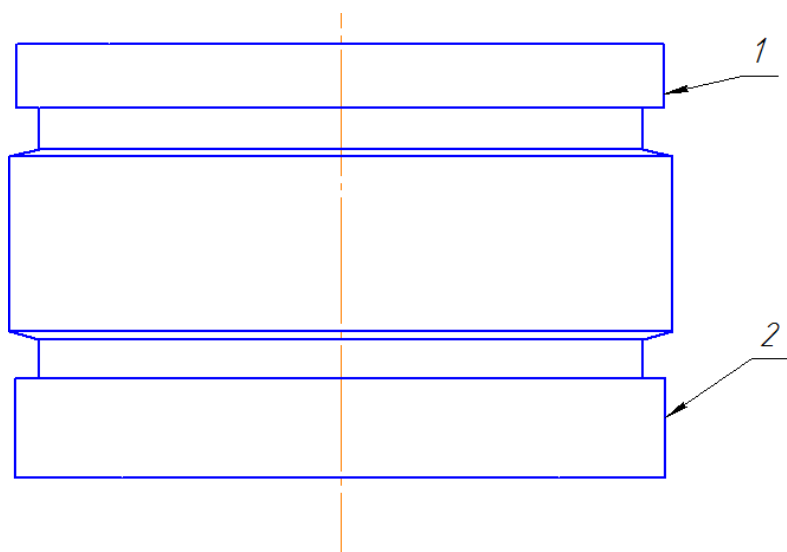
А. Установити, закріпити, зняти, перевернути.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88



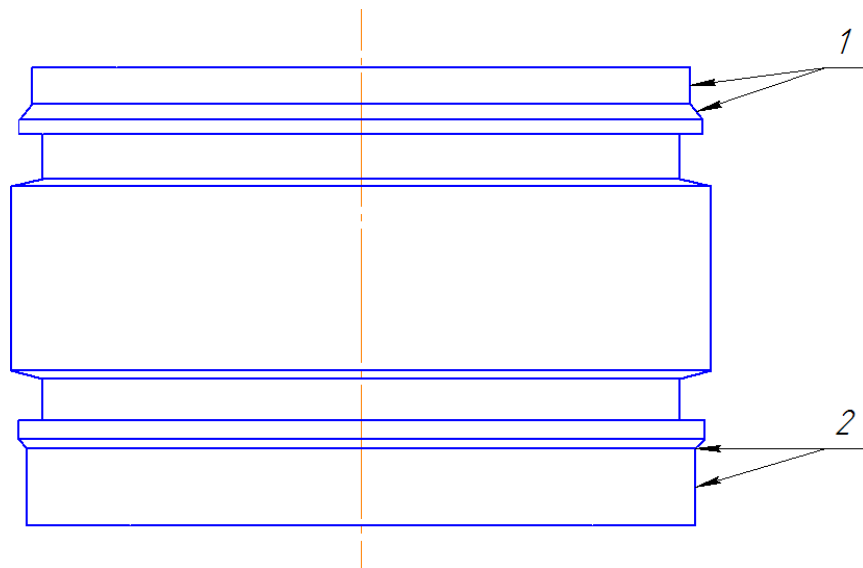
15.01. Точити канавки та фаски 1 і розмір 2.

15.02. Розточити витримуючи розміри 1 і 2



Б. Установити, закріпити, зняти.

15.03. Розточити канавки витримуючи діаметр та фаску 1 і діаметр та фаску 2.



020 Свердління ЧПУ

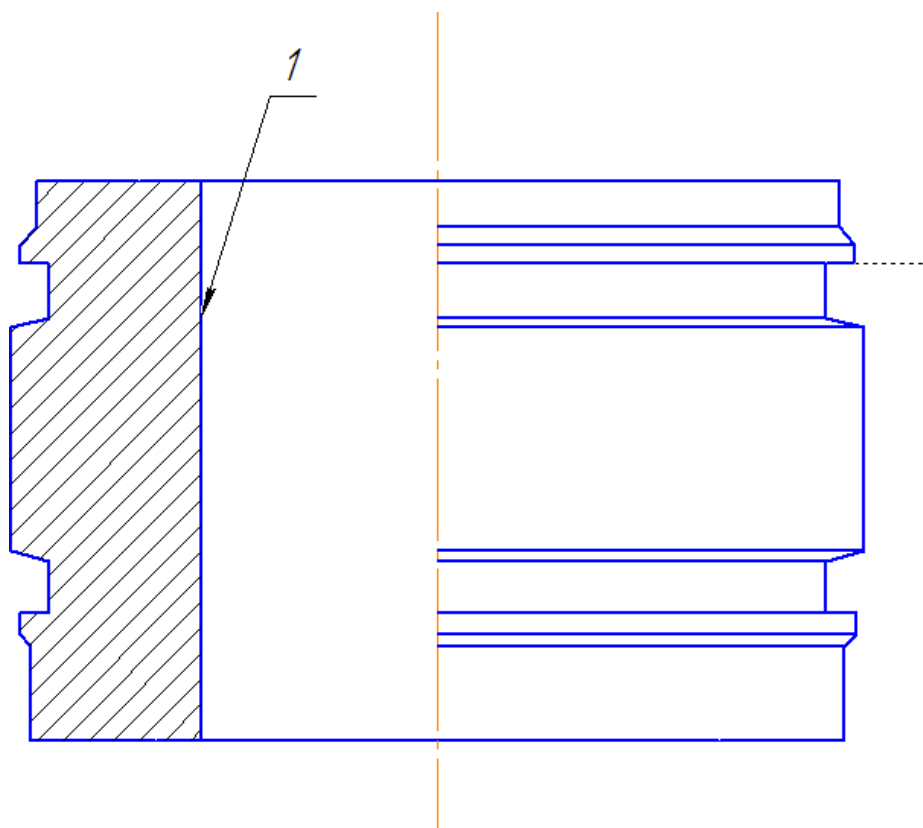
Вид обладнання: вертикально-свердлильний моделі 2P135Ф2-1.

Система оснастки: оснастка універсальна.

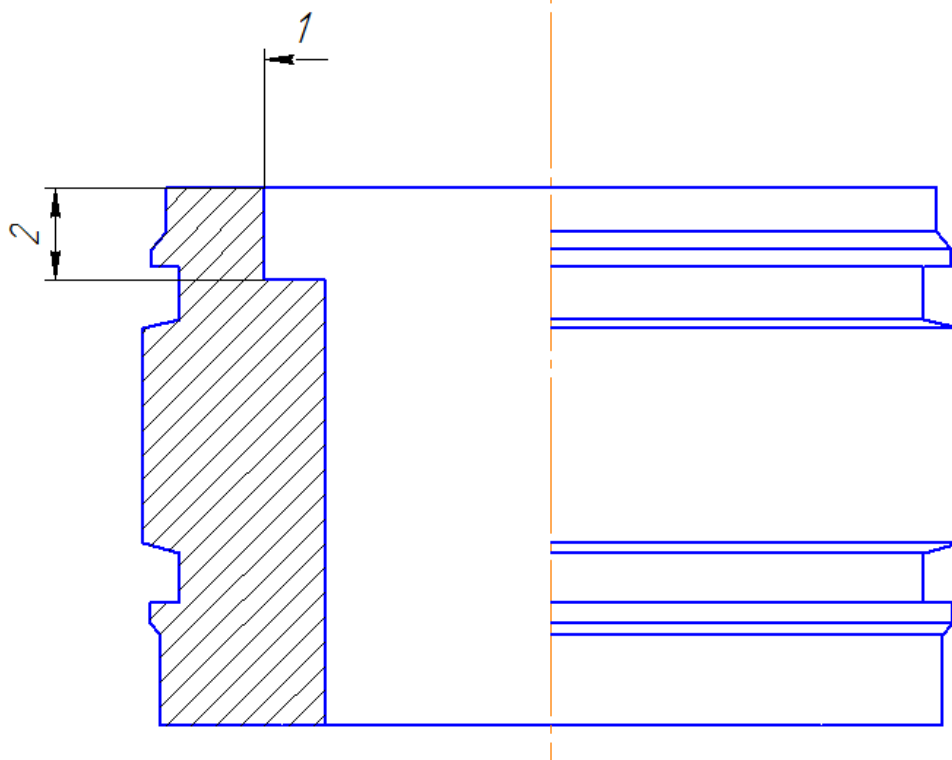
Різальний інструмент: свердло спіральне Р6М6.

А. Установити, закріпити, зняти, перевернути.

020.01 Просвідлити отвір витримуючи розмір 1



025.03 Точити внутрішню поверхню діаметром 1 довжиною 2



045 Миюча

50 Доводочна

Вид обладнання: доводочний верстат ОФ-26М.

Система оснастки: оснастка універсальна.

Різальний інструмент: притир.

А. Установити, закріпити, зняти.

50.01. Шліфувати поверхні витримуючи розміри.

4.4.1 Розрахунок режиму різання при точінні

Вихідні дані для розрахунку режиму різання:

Матеріал заготовки поковка, Сталь 45 ГОСТ 4543-71

Границя міцності матеріалу заготовки $\sigma_B = 690$ МПа

Загальний припуск на обробку (на діаметр) $h = 5$ мм

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Діаметр заготовки $D = 365$ мм

Діаметр деталі (після обробки) $d = 360$ мм

Довжина оброблюваної поверхні $l = 235$ мм

Необхідна шорсткість $R_a = 3,2$ мкм

Загальний припуск визначається за формулою:

$$D-d = 365-360=5\text{мм},$$

де

D - діаметр заготовки;

d - необхідний діаметр.

Загальний глибина різання дорівнює:

$$t = \frac{h}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ мм}$$

Приймаємо подачу різця $S = 0.8$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання v , м / хв. за формулою:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v,$$

де

C_v - коефіцієнт, що залежить від умов обробки для обробки $C_v = 340$;

T - стійкість різця, хв (приймаємо $T = 60$ хв);

x, y, m - показники ступеня;

K_v - загальний поправочний коефіцієнт, що представляє собою добуток окремих коефіцієнтів, кожен з яких відображає вплив певного фактора на швидкість різання.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для різців з пластиною з твердого сплаву K_v дорівнює:

$$K_v = K_{\mu v} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{ov},$$

де

$K_{\mu v}$ - загальний поправочний коефіцієнт, що враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу і дорівнює:

$$K_{\mu v} = \frac{750}{\sigma_B} = \frac{750}{690} = 1.08,$$

де

σ_B - поріг міцності матеріалу, $\sigma_B = 690$ МПа;

K_{nv} - поправочний коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки, $K_{nv} = 0.9$;

K_{uv} - поправочний коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини, $K_{uv} = 0.65$

$K_{\varphi v}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує головний кут в плані різця, для $\varphi = 45^\circ$ $K_{\varphi v} = 1$;

K_{ov} - поправочний коефіцієнт, що враховує вид обробки, $K_{ov} = 1.04$;

Загальний поправочний коефіцієнт для різця дорівнює:

$$K_v = 1.08 \cdot 0.9 \cdot 0.65 \cdot 1 \cdot 1.04 = 0.65.$$

Показники степеня дорівнюють:

$$x = 0.15, y = 0.35, m = 0.2.$$

Швидкість різання, м / хв, дорівнює:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						93
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v = \frac{340}{60^{0.2} \cdot 2^{0.15} \cdot 0.8^{0.35}} \cdot 0.65 = 97 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя, об/хв за розрахунковою швидкості різання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 97}{3.14 \cdot 365} \approx 87 \text{ об/хв.}$$

Для обробки вибираємо ступінь коробки швидкостей з $n = 250 \text{ об/хв.}$

Визначаємо фактичну швидкість різання:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 365 \cdot 250}{1000} \approx 286 \text{ м/хв.}$$

Обраний режим різання необхідно перевірити по потужності приводу шпинделя верстата.

Потужність, що витрачається на різання N_p , повинна бути менше або дорівнювати потужності на шпинделі $N_{шп}$:

$$N_p \leq N_{шп} = N_{\varepsilon} \cdot \eta,$$

де N_{ε} - потужність електродвигуна токарного верстата, кВт; для верстата 2А620Ф2, $N_{\varepsilon}=10 \text{ кВт}$;

η - ККД приводу токарного верстата, для верстата 2А620Ф2 $\eta = 0.8$.

Потужність різання визначається за формулою:

$$N_p = \frac{P_z \cdot v_{\phi}}{1000},$$

де

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						94
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

P_Z - сила різання, Н;

v_ϕ - фактична швидкість різання, м/с.

Для визначення потужності різання визначаємо силу різання при чорновій обробці. Силу різання при точінні розраховуємо за наступною формулою:

$$P_Z = 9.81 \cdot C_P \cdot t_P^x \cdot S^y \cdot v_\phi^n \cdot K_P, \text{де}$$

C_P - коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу, матеріал ріжучої частини різця, а також умови обробки, $C_P=300$;

K_P загальний поправочний коефіцієнт, чисельно рівний добутку ряду коефіцієнтів, кожен з яких відображає вплив певного фактора на силу різання:

$$K_P = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\tau p}, \text{де}$$

K_{mp} - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу, та визначається:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^{0.75} = \left(\frac{690}{750} \right)^{0.75} = 0.94 ;$$

$K_{\phi p}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує головний кут в плані різця $K_{\phi p} = 1$;

$K_{\gamma p}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує передній кут різця, $K_{\gamma p} = 1$;

$K_{\tau p}$ - поправочний коефіцієнт що враховує кут нахилу головного леза, $K_{\tau p} = 1$.

Тоді, загальний поправочний коефіцієнт дорівнює:

$$K_P = 0.94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0.94 .$$

Показники ступеня: $x = 1$, $y = 0.75$, $n = -0.15$.

Сила різання при точінні дорівнює:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						95
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_z = 9.81 \cdot 300 \cdot 2,5^1 \cdot 0.8^{0.75} \cdot 102^{-0.15} \cdot 0.94 = 2846 \text{ Н.}$$

Потужність різання, кВт:

$$N_P = \frac{2846 \cdot 102}{1000 \cdot 60} = 4.83 \text{ кВт.}$$

Потужність на шпинделі дорівнює:

$$N_{\text{шп}} = 10 \cdot 0.8 = 8 \text{ кВт.}$$

Так як $N_P < N_{\text{шп}}$ (4,83 < 8 кВт), то вибраний режим різання задовольняє умови по потужності на шпинделі верстата.

Основний час T_o на зміну форми і розмірів заготовки визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S},$$

де L - довжина робочого ходу різця:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3,$$

де l - довжина оброблюваної поверхні, $l = 1146 \text{ мм}$;

l_1 - величина шляху врізання:

$$l_1 = t_1 \cdot \operatorname{ctg} \phi + 2 = 2,5 \cdot \operatorname{ctg} 45^\circ + 2 = 4,5 \text{ мм};$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						96
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

l_2 - величина перебігаючи різця, $l_2 = 1...3$ мм, приймаємо $l_2 = 3$;

l_3 - величина шляха для зняття пробних стружок, мм. У масовому виробництві при роботі на налаштованих верстатах l_3 не враховується;

i - число робочих ходів різця, $i = 1$.

Основний час дорівнює:

$$T_{\overline{O}} = \frac{(65 + 4,5 + 3) \cdot 1}{250 \cdot 0,8} = 2,68 \text{ хв.}$$

Одиничний час, що витрачається на дану операцію:

$$T_{\text{од}} = T_O + T_{\text{доп}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}}, \text{ де}$$

$T_{\text{доп}}$ - допоміжний час, хв:

- час на установку і зняття деталі – 1.05 хв;

- час на робочий хід приймаємо 0,2 хв;

- час на вимірювання деталі приймаємо 0,2 хв;

$$T_{\text{доп}} = 1.05 + 0.2 + 0.2 = 1.45 \text{ хв.}$$

$T_{\text{оп}}$ - оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_O + T_{\text{доп}} = 2.68 + 1.45 = 4.13 \text{ хв.}$$

Час обслуговування робочого місця:

$$T_{\text{обс}} = (3...8\%) \cdot T_{\text{оп}} .$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						97
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Час перерв у роботі:

$$T_{\text{ПЕР}} = (4...9\%) \cdot T_{\text{ОП}} .$$

Час, що витрачається на обробку однієї деталі:

$$T_{\text{ОД}} = 2.68 + 1.45 + 0.08 \cdot 4.13 + 0.09 \cdot 4.13 = 4.83 \text{ хв.}$$

4.4.2. Розрахунок режимів різання при фрезеруванні.

Вихідні дані для розрахунку режиму різання:

Матеріал заготовки поковка, Сталь 45 ГОСТ 4543-71

Границя міцності матеріалу заготовки $\sigma_B = 690$ МПа

Ширина оброблюваної поверхні заготовки $B = 80$ мм

Довжина оброблюваної поверхні заготовки $L = 65$ мм

Необхідна шорсткість обробленої поверхні $Ra = 3,2$ мкм

Загальний припуск на обробку $h = 2$ мм

Вибираємо торцеву фрезу з багатограними твердосплавними пластинками по ГОСТ 26595. Діаметр фрези вибираємо зі співвідношення:

$$D = (1,25 \div 1,5) \cdot B = 1,4 \cdot 80 = 112 \text{ мм.}$$

Вибираємо фрезу діаметром $D = 200$ мм, число зубів $z = 12$.

Матеріал фрези ВК6М. Геометричні параметри фрези: передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут для роботи з подачею в мм / зуб $\alpha = 8^\circ$, головний кут в плані $\varphi = 60^\circ$, кут в плані перехідної кромки $\varphi_0 = 30^\circ$, допоміжний кут в плані $\varphi_1 = 5^\circ$, кут нахилу ріжучої кромки $\lambda = 14^\circ$.

Припуск на одну сторону:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ мм.}$$

Подачу на зуб приймаємо $S_Z = 0.18 \text{ мм/зуб}$. Подача на один оберт складає:

$$S_O = S_Z \cdot z = 0.18 \cdot 12 = 2.16 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання, м/хв, визначаємо за формулою:

$$v = \frac{C \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot K_v \cdot B^p \cdot z^p} \text{ де}$$

C_v - коефіцієнт, що залежить від умов обробки для обробки $C_v = 445$;

T - стійкість фрези, хв (приймаємо $T = 180 \text{ хв}$);

$x = 0.15$, $y = 0.35$, $m = 0.32$, $q = 0.2$, $u = 0.2$, $p = 0$ - показники ступеня;

K_v - загальний поправочний коефіцієнт, що представляє собою добуток окремих коефіцієнтів, кожен з яких відображає вплив певного фактора на швидкість різання, і дорівнює:

$$K_v = K_{\mu v} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi v} \text{ де}$$

$K_{\mu v}$ - загальний поправочний коефіцієнт, що враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу і дорівнює:

$$K_{\mu v} = \frac{750}{\sigma_B} = \frac{750}{690} = 1.08,$$

K_{nv} - поправочний коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки, $K_{nv} = 1$;

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						99
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

K_{uv} - поправочний, коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини,

$$K_{uv} = 0.92 ;$$

$K_{\varphi v}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує головний кут в плані різця, для

$$\varphi = 60^{\circ} K_{\varphi v} = 1 ;$$

Загальний поправочний коефіцієнт дорівнює:

$$K_v = 1.08 \cdot 1 \cdot 0.92 \cdot 1 = 0.99 .$$

Швидкість різання при фрезеруванні:

$$v = \frac{445 \cdot 200^{0.2}}{180^{0.32} \cdot 2.5^{0.15} \cdot 0.18^{0.35} \cdot 130^{0.2} \cdot 12^0} \cdot 0.99 = 148 \text{ м/мин.}$$

Визначаємо частоту обертання фрези, об / хв за розрахунковою швидкості різання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 148}{3.14 \cdot 365} \approx 241 \text{ об/хв.}$$

Для обробки вибираємо ступінь коробки швидкостей з $n = 250 \text{ об/хв.}$

Визначаємо фактичну швидкість різання:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 112 \cdot 250}{1000} \approx 161 \text{ м/хв.}$$

Для уточнення величин подач необхідно розрахувати швидкість руху подачі v_s за величиною подачі на зуб і на один оборот:

$$v_s = S_o \cdot n = S_z \cdot z \cdot n = 0.18 \cdot 12 \cdot 250 = 556 \text{ мм/хв.}$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						100
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За паспортом верстата знаходимо можливу настроювання на швидкість руху подачі, вибираючи найближчі менші значення $v_s = 500 \text{ мм/хв}$. Виходячи з прийнятих величин, уточнюємо значення подач на зуб і на оберт:

$$S_o = 500 / 250 = 2 \text{ мм/об},$$

$$S_z = 2 / 12 = 0.167 \text{ мм/зуб}.$$

Обраний режим різання перевіряємо по потужності на шпинделі верстата 6P11.

Потужність, що витрачається на різання, повинна бути меншою або дорівнювати потужності на шпинделі:

$$N_P \leq N_{\text{шп}} = N_{\text{э}} \cdot \eta.$$

Потужність на шпинделі:

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{э}} \cdot \eta = 5.5 \cdot 0.8 = 4.4 \text{ кВт}.$$

Потужність різання, кВт, визначається за формулою:

$$N_P = \frac{M_{KP} \cdot n_{\phi}}{9750}.$$

Крутний момент, Нм, визначається за формулою:

$$M_{KP} = P \cdot \frac{D_{\phi}}{Z \cdot 2 \cdot 1000}.$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		101

Головна складова сили різання, Н, визначається за формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_\phi \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u}{D^q \cdot n_\phi^w} \cdot K_P$$

Значення коефіцієнтів $C_P = 825$, $x = 1$, $y = 0.75$, $u = 1.1$, $w = 0.2$, $q = 1.3$.

При затупленні фрези до допустимої величини сила різання зростає при обробці сталі з $\sigma_B \geq 600$ в 1,3-1,4 рази. Приймаються збільшення в 1,3 рази.

Загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_P = K_{\mu P} \cdot K_{vP} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\phi P}, \text{ де}$$

$$K_{\mu P} = \left(\frac{690}{750} \right)^{0.3} = 0.98,$$

$$K_{vP} = 1, K_{\gamma P} = 1.25, K_{\phi P} = 1, \text{ отже:}$$

$$K_P = 0.98 \cdot 1 \cdot 1.25 \cdot 1 = 1.22.$$

Головна складова сили різання при чорновому фрезеруванні, Н, складе:

$$D_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 2.5^1 \cdot 0.167^{0.25} \cdot 130^{1.1}}{200^{1.3} \cdot 250^{0.2}} \cdot 1.22 = 1251.6 \text{ Н.}$$

Крутний момент:

$$M_{ED} = 932.54 \cdot \frac{200}{-24000} = 112.3 \text{ Нм.}$$

Потужність різання при фрезеруванні:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		102

$$N_P = \frac{93,3 \cdot 250}{9750} = 3.39 \text{ кВт.}$$

Так як $N_P < N_{III}$ ($2,39 < 4,4$ кВт), то вибраний режим різання задовольняє умови по потужності на шпинделі верстата.

Основний час T_O на зміну форми і розмірів заготовки визначаємо за формулою:

$$T_O = \frac{L}{n \cdot S} = \frac{130}{250 \cdot 0,167} = 3,11 \text{ хв.}$$

Одиничний час, що витрачається на дану операцію:

$$T_{од} = T_O + T_{доп} + T_{обс}, \text{де}$$

$T_{доп}$ - допоміжний час, хв:

- час на установку і зняття деталі – 1.8 хв;
- час на робочий хід приймаємо 0,8 хв;
- час на вимірювання деталі приймаємо 0,2 хв;

$$T_{доп} = 1.8 + 0.8 + 0.2 = 2.8 \text{ хв.}$$

$T_{оп}$ - оперативний час:

$$T_{оп} = T_O + T_{доп} = 3,11 + 2.8 = 5.91 \text{ хв.}$$

Час обслуговування робочого місця та перерв у роботі:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

$$T_{OBC} = 10\% = 0.1 \cdot 5.11 = 0.51 \text{ хв.}$$

Час, що витрачається на обробку однієї деталі:

$$T_{од} = 3.11 + 2.8 + 0.51 = 6.42 \text{ хв.}$$

4.4.3. Розрахунок режимів різання при свердленні.

Вихідні дані для розрахунку режиму різання:

Матеріал заготовки поковка, Сталь 45 ГОСТ 4543-71

Границя міцності матеріалу заготовки $\sigma_B = 690 \text{ МПа}$

Діаметр отвору $D = 36 \text{ мм}$

Глибина отвору $L = 65 \text{ мм}$

Швидкість різання, м/хв, визначаємо за формулою:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v \text{ де}$$

C_v - коефіцієнт, що залежить від умов обробки для обробки $C_v = 25.3$;

T - стійкість фрези, хв (приймаємо $T = 25 \text{ хв}$);

$y = 0.4$, $m = 0.125$, $q = 0.25$ - показники ступеня;

K_v - загальний поправочний коефіцієнт, що представляє собою добуток окремих коефіцієнтів, кожен з яких відображає вплив певного фактора на швидкість різання, і дорівнює:

$$K_v = K_{\mu v} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv} \text{ де}$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
						104
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_{\mu\nu}$ - загальний поправочний коефіцієнт, що враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу і дорівнює:

$$K_{\mu\nu} = \frac{750}{\sigma_B} = \frac{750}{690} = 1.08,$$

K_{uv} - поправочний, коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини, $K_{uv} = 1$

$$K_{lv} = 1.$$

Загальний поправочний коефіцієнт дорівнює:

$$K_v = 1.08 \cdot 1 \cdot 1 = 1.08.$$

Швидкість різання при свердленні:

$$v = \frac{25.3 \cdot 100^{0.2}}{25^{0.125} \cdot 0.35^{0.4}} \cdot 1.08 = 70.7 \text{ м/мин.}$$

Тоді подача $S = 0.32$ мм/об.

Визначаємо частоту обертання шпинделя, об/хв за розрахунковою швидкості різання:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 70.7}{3.14 \cdot 365} = 225 \text{ об/хв.}$$

Для обробки вибираємо ступінь коробки швидкостей з $n = 250$ об/хв.

Визначаємо фактичну швидкість різання:

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 36 \cdot 250}{1000} \approx 78.5 \text{ м/хв.}$$

Обраний режим різання необхідно перевірити по потужності приводу шпинделя верстата.

Потужність, що витрачається на різання N_p , повинна бути менше або дорівнювати потужності на шпинделі $N_{шп}$:

$$N_p \leq N_{шп} = N_{\Sigma} \cdot \eta,$$

де N_{Σ} - потужність електродвигуна токарного верстата, кВт; для верстата 2Р135Ф2-1, $N_{\Sigma} = 9,8$ кВт;

η - ККД приводу токарного верстата, для верстата 2Р135Ф2-1 $\eta = 0.8$.

Потужність на шпинделі:

$$N_{шп} = N_{\Sigma} \cdot \eta = 9.8 \cdot 0.8 = 7.93 \text{ кВт.}$$

Потужність різання, кВт, визначається за формулою:

$$N_p = \frac{M_{KP} \cdot n}{9750}$$

Крутний момент, Нм, визначається за формулою:

$$M_{KP} = 10 \cdot C_M \cdot D_q \cdot s_y \cdot K_P.$$

Значення коефіцієнтів

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		106

$$C_M = 0.034, y = 0.8, q = 2.0.$$

Загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_P = K_{\mu P}, \text{ де}$$

$$K_{\mu P} = \left(\frac{690}{750} \right)^{0.75} = 0.4,$$

Крутний момент:

$$\dot{I}_{ED} = 10 \cdot 0.012 \cdot 100 \cdot 0.32 \cdot 0.4 = 199 \text{ Нм.}$$

Силу різання при свердленні розраховуємо за наступною формулою:

$$P = 10 \cdot C \cdot D^q \cdot s^y \cdot K, \text{ де}$$

C_P - коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу, а також умови обробки, $C_P = 42$;

$$y = 0.7, q = 1.$$

Загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_P = K_{\mu P}, \text{ де}$$

$$K_{\mu P} = \left(\frac{690}{750} \right)^{0.75} = 0.4.$$

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		107

Сила різання при свердленні:

$$P_o = 10 \cdot 42 \cdot 100^1 \cdot 0.32^{0.7} \cdot 0.4 = 7560 \text{ Н.}$$

Потужність різання при свердленні:

$$N_P = \frac{192 \cdot 250}{9750} = 4,92 \text{ кВт.}$$

Так як $N_P < N_{шп}$ ($4,92 < 7,84$ кВт), то вибраний режим різання задовольняє умови по потужності на шпинделі верстата.

4.5.Висновки.

В технологічній частині цього дипломного проекту було розроблено технологічний процес виготовлення деталі “поршень” для гідравлічного пресу КМДА 1536, спроектовані технологічні послідовності обробки заготовки для виготовлення онної, маршрутний технологічний процесс, та проведені розрахунки режимів різання при точінні, свердленні та фрезеруванні

Загальні висновки:

В результаті проведення роботи над дипломним проектом розроблено схему лабораторного стенду для дослідження героторного насосу яка включає в себе гідравлічний циліндр для забезпечення реалізації реалістичності роботи насосу та навантажувальний пневматичний циліндр для забезпечення навантаження змінного при роботі гідравлічного циліндру

Проведено розрахунки гідравлічної схеми лабораторного стенду розраховано та підібрано необхідну апаратуру також проведені розрахунки пневматичної частини схеми і підібрано необхідне обладнання.

За результатами проведених розрахунків розроблено складальне креслення гідравлічного циліндра та складальне креслення пневматичного циліндра для забезпечення модернізації лабораторного стенду

В процесі роботи виконуються зорові роботи малої точності. Таким чином, мінімальна освітленість даної навчальної аудиторії складає 150лк.

Таким чином, параметри навчальної аудиторії, де проходить керування позиційного приводу, а саме розміри цього приміщення, які доводяться на одного працівника, відповідають нормативним параметрам площі і об'єму приміщення на одного працівника.

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		108

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Каталоги сайту <https://spectrolab.com.ua/>
2. <https://spectrolab.com.ua/p35588147-stend-laboratornyj-gidravlika.html>
3. Абрамов Е.И., Колесниченко К.А., Маслов В.Т. Элементы гидропривода: Справочник. - 2-е изд., перераб. и доп. - Київ:Техніка, 1977. - 322 с.
4. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя.- М.:Машиностроение, 1977. - Т. 1-3.
5. <http://uilomsk.ru/profobrazovanie/gidravlika/image/ntc-11.17.2/>
6. <http://uilomsk.ru/profobrazovanie/gidravlika/image/ntc-11.60/>
7. <http://rvtltd.com.ua/power-hydraulics/p-200-uniflex/>
8. <http://newstyle-y.ru/high-school/liquid-gas/>
9. Свешников В.К., Усов А.А. Станочные гидроприводы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1982. - 464 с.
10. Марутов В.А., Павловский С.А, Гидроцилиндры. Конструкции и расчет. – М.:Машиностроение, 1966 – 169с.
11. Каталоги Bosch Rexroth AG, <https://www.boschrexroth.com>
12. База нормативних документів <http://csm.kiev.ua/>
13. Каталоги <http://m-impex.com>
14. Методичні вказівки до курсового проекту «Проектування об'ємних машин і гідроприводів» В.К. Буслов – Київ НТУУ «КПІ», 2008 80с.
15. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1975. 272 с.
16. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Пневмопривод». Изучение конструкции и принципа работы пневмоаппаратуры высокого давления.-Київ : КПИ, 1981.
17. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Пневмопривод», ч.ІІ.-Київ : КПИ, 1981.

18. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник
(Под общ. Ред. Герц Е.В. – М.: Машиностроение, 1981. 408 с.
19. Элементы и устройства пневмоавтоматики высокого давления.
Каталог-справочник.-М.: НИИМАШ, 1978.
20. Пневматические средства автоматизации. Каталог 98/99

					МА61-1.001.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		110